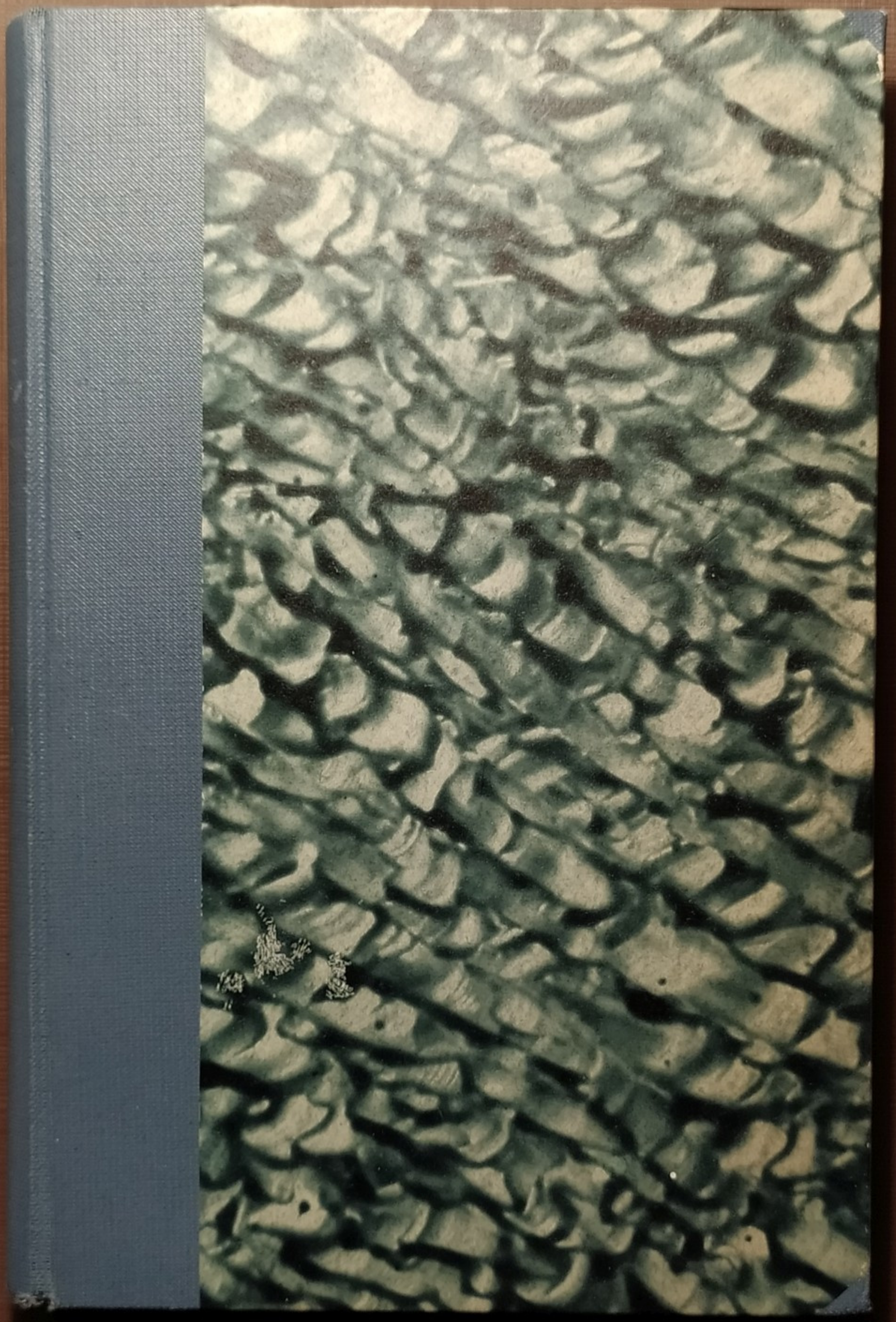


Ing. PIETRO VEROLE

ELETTROTERMICA

Il Riscaldamento Elettrico nell'Economia Domestica

3ª Edizione illustrata con 216 figure.

MILANO
ULRICO HOEPLI
Fornitore-Libraio della R. Casa
1921

MILANO
Off. Grafiche della Casa editrice E. Vitali
Via Porta Tenaglia N. 9
—
1921

Al benevolo lettore,

Quando pubblicai la prima edizione di questo lavoro il riscaldamento elettrico era considerato un'utopia. Ma l'utopia divenne realtà e tale sistema di riscaldamento si diffuse, se non nella misura che sarebbe stato desiderabile, purtuttavia in modo abbastanza cospicuo, incontrando il generale favore. Il rincaro e la scarsa disponibilità del combustibile, che purtroppo perdurano e perdureranno a lungo, dovrebbero essere di stimolo ad utilizzare sempre più le nostre energie idroelettriche anche nella produzione del calore occorrente nelle nostre abitazioni e nei nostri luoghi di lavoro e di riunione.

A questo scopo mira la presente nuova edizione aggiornata, la quale si propone inoltre di contribuire allo sviluppo presso di noi di un'industria non disprezzabile: quella riflettente gli apparecchi elettrotermici.

Possa questo volumetto, il quale al suo esordire fu tanto favorevolmente accolto dalla stampa tecnica nostrana ed estera, essere auspice di una diffusione e di un progresso, svolgentisi con ritmo crescente, del concetto che esso ha propugnato ed illustrato nell'interesse dell'economia nazionale!

Novembre 1920.

P. VEROLE.

PREFAZIONE ALLA 2ª EDIZIONE

Nel ripresentare al pubblico questo volumetto non è possibile non rilevare che gravi, tragici avvenimenti lo hanno reso di tutta attualità. E invero la guerra che da quattro anni insanguina l'Europa e alla quale partecipiamo con epico coraggio e valore ha fatto salire a prezzi, che senza esagerazione si possono dire iperbolici, il carbone fossile, del quale non abbiamo dei grandi giacimenti in Italia e che dobbiamo importare dall'Inghilterra e dall'America, causando di più delle assillanti preoccupazioni pel relativo approvvigionamento a cagione sia della insufficiente disponibilità delle navi carboniere e sia della spietata guerra corsara dei sottomarini tedeschi. Inoltre i combustibili nostrani, antraciti, ligniti, torbe, legna, carbonella, ecc., rincararono proporzionalmente talchè le persone meno facoltose nelle regioni nostre ove l'inverno è rigido dovettero soffrire il freddo con pregiudizio anche della salute.

In seguito a ciò la pubblica opinione insistemente reclamò che l'impiego del succedaneo dei combustibili nel riscaldamento, l'elettricità, non fosse più oltre ostacolato, ed ottenne che fosse abolita, almeno temporaneamente, la tassa governativa che in modo eccessivo colpiva il riscaldamento elettrico non destinato a scopi industriali. E' certo che l'abolizione temporanea di tale tassa diverrà definitiva e che inoltre, come ne diedero già l'esempio cospicui comuni, verranno pure abolite ovunque le corrispondenti tasse comunali; onde si schiuderà senza dubbio un ampio orizzonte alle applicazioni dell'elettricità all'economia domestica. E ciò con vantaggio anche dell'economia nazionale, poichè se siamo poveri di carbone nero possediamo per contro in abbondanza del

carbone bianco, molto del quale purtroppo si porta tuttora al mare senza produrre alcun effetto utile, chè anzi, non regolato e disciplinato, distrugge coltivazioni, schianta manufatti e rende paludosa e miasmatica tanta parte del nostro suolo.

Il carbone nero e il carbone bianco, così diversi l' uno dall'altro, ci forniscono ambedue del calore solare. Il primo, che si estrae dalle viscere della terra, allorchè lo abbruciamo per ottenerne l'effetto utile si trasforma essenzialmente in acido carbonico, svolgendo una quantità di calore pari a quella che il sole in tempi remotissimi fornì a delle foreste affinchè il loro fogliame scomponesse dell'acido carbonico diffuso nell'atmosfera e se ne assimilassero il carbonio; mentre il secondo, discendendo dai monti e dai colli in forza del proprio peso e operando nelle centrali elettriche, restituisce del calore che esso attinse anteriormente dal sole per portarsi colassù, sotto forma di vapore, vincendo la forza di gravità, dal mare, dai laghi e dai fiumi. Però mentre il primo è fatalmente destinato ad aumentare di costo anche in tempi normali man mano che l'uomo dovrà addentrarsi più giù nella terra onde estrarnelo, è inoltre lontano da noi ed è destinato col tempo a scomparire, il secondo invece è in casa nostra, potremo sempre averlo, e di più senza grandi fluttuazioni nel prezzo, perchè è riversibile e cioè pure cambiando di stato e divenendo ora vapore, neve, ghiaccio, brina, nebbia, e ora grandine, sempre ritorna a noi sotto forma di acqua liquida perchè possiamo perennemente riutilizzarlo, almeno finchè il sole esisterà e finchè il nostro paese non perderà il suo carattere alpestre.

E' stato detto che l'energia elettrica si può e si deve usare in applicazioni più rimunerative di quella del riscaldamento. Ma chi ben esamini i diagrammi di carico delle nostre centrali idroelettriche si persuaderà come vi sia campo per l'impiego dell'elettricità nell'economia domestica senza pregiudizio dell'impiego suo nell'illuminazione, nei trasporti di forza e nella trazione. Quanti cascami di energia non vanno infatti perduti che si potrebbero avere a prezzi assai bassi! Quando, il che è da augurarsi avvenga presto, sorgeranno numerose nuove e potenti centrali idroelettriche nonchè i provvidenziali bacini montani, che serviranno ad evitare lo sperpero dell'acqua, e tutte le centrali saranno tra di loro collegate perchè possano

sussidiarsi a vicenda, crescerà ancora la disponibilità dell'energia elettrica che si potrà impiegare pel riscaldamento di alloggi, scuole, collegi, chiese, teatri, ospedali, officine, caserme, ristoranti, ecc.

E qui viene in acconcio di notare essere stato osservato che se la mancanza del combustibile può mettere a grave repentaglio la nostra vita civile, commerciale e industriale nonchè la nostra integrità nazionale, d'altra parte l'energia elettrica, in caso di guerra, a cagione sia di cannoneggiamenti e sia di esplosioni di bombe lanciate da aereoplani o dirigibili contro gli impianti che la producono e la distribuiscono (centrali idroelettriche, sottostazioni di trasformazione, linee, ecc.) potrebbe pure venir meno e dare così luogo alle stesse esiziali conseguenze. Ma in proposito devesi considerare che il combustibile proviene da miniere d'oltre mare sulle quali non possiamo esercitare alcuna efficace ingerenza, come pure sfuggono alla nostra azione i lunghi viaggi che esso deve percorrere prima di giungere ai nostri porti; mentrechè gli accennati impianti idroelettrici sono in casa nostra, potranno sempre essere presidiati dai necessari mezzi di difesa sia terrestri che aerei e occorrendo saranno strenuamente difesi. Di più quando si disponga di un gran numero di centrali tra di esse allacciate, si potrà sempre supplire all'eventuale mancanza di alcune di esse, laddove le sottostazioni di trasformazione e le linee di trasmissione si potranno facilmente riparare o sostituire.

E' da considerare che il riscaldamento elettrico si può adattare con tutta facilità e permette anche di utilizzare in gran parte le installazioni già esistenti pei riscaldamenti centrali ad acqua, a vapore e ad aria.

E così ai sistemi a termosifone o a vapore si può sostituire quello elettrico coll'impiegare semplicemente una caldaia elettrica in luogo di quella a combustione per fornire l'acqua o il vapore che circolando nelle condotte e negli elementi riscaldanti cede il calore agli ambienti. Si potrà di più utilizzare la stessa caldaia a combustione disponendovi in luogo della graticola un'adatta resistenza elettrica. Se non si disponesse di tutta la quantità di energia elettrica occorrente pel riscaldamento, si potrebbe tuttavia ridurre il consumo del combustibile

coll'impiegare due caldaie, una a combustione e l'altra elettrica, che potranno erogare alternativamente o simultaneamente dell'acqua calda o del vapore nella stessa condotta di distribuzione. La caldaia elettrica propriamente detta, essendo assai piccola e poco ingombrante e non richiedendo nè fondazioni, nè murature di rivestimento, nè condotti del fumo, nè assistenza, trova facilmente posto in qualsiasi locale.

Analogamente gli impianti centrali di riscaldamento ad aria calda possono essere facilmente adattati all'azionamento elettrico. In questi impianti, come è noto, l'aria richiamata dall'esterno lambisce le pareti di un apparecchio a combustione, situato generalmente in un sotterraneo, allo stesso modo delle caldaie dei sistemi a termosifone o a vapore; ivi si riscalda, dopodichè circolando in condotti praticati nei muri dell'edificio si porta alle bocche di efflusso da cui si versa negli ambienti da riscaldare. Orbene basterà sostituire all'apparecchio a combustione un apparecchio elettrotermico per rendere elettrici i preesistenti sistemi di riscaldamento. Anche in questo caso si potranno adottare delle disposizioni per produrre il calore in parte colla combustione e in parte coll'elettricità.

Per gli edifici i quali sono provvisti non di sistemi centrali di riscaldamento, ma di caminetti, franchline o stufe, la sostituzione del carbone coll'energia elettrica è logicamente da farsi mediante stufe elettriche. E così pure delle stufe elettriche, di cui vi è una varietà da soddisfare a tutte le possibili esigenze, saranno da prevedersi per gli edifizi da costruire e per quelli in corso di costruzione pei quali si possa disporre della necessaria energia elettrica.

Una grande importanza hanno pel successo del riscaldamento elettrico delle abitazioni gli accumulatori elettrotermici, consistenti generalmente in serbatoj d'acqua, i quali permettono di immagazzinare, sotto forma di calore, dell'energia elettrica, quando questa è disponibile e cioè quando le centrali possono produrne in quantità superiore ai bisogni immediati, per distribuirla allorquando la disponibilità dell'energia elettrica direttamente prodotta è nulla o insufficiente alla richiesta. Essi se convenientemente dimensionati potranno colmare i vuoti dei diagrammi di carico delle centrali sino alle

linee orizzontali corrispondenti alle loro potenze normali. Nè è a ritenersi che gli accumulatori elettrotermici possano essere superflui allorquando già sianvi i bacini montani od accumulatori idraulici poichè mentre questi servono ad aumentare la efficienza delle centrali, quelli servono a provvedere al riscaldamento anche durante i periodi di tempo in cui tutta la potenza di esse sia impegnata in altri scopi e a mettere inoltre a disposizione in qualunque circostanza dell'acqua calda pei molteplici bisogni domestici.

Dobbiamo aggiungere che molto si è discusso intorno alla tarifficazione dell'energia elettrica destinata al riscaldamento e che si sono anche proposti dei mezzi per impedire che questa, pel fatto che è fornita a basso prezzo ed è esente da tasse, non sia abusivamente impiegata per l'iluminazione. Ma si è ormai riconosciuto essere opportuno, a scopo di semplificazione e facilitazione, di evitare l'impiego di distribuzione separate e di appositi strumenti di controllo per l' energia da fornirsi agli apparecchi termici, ritenendosi che siano sufficientemente tutelati gli interessi fiscali da convenzioni, da rendersi ostensibili, tra l'esercente e l'utente, essendo il primo necessariamente riluttante a considerare inferiore al vero il consumo dell'energia impiegata nell'illuminazione. E siccome daltra parte l'utente dovrebbe sopportare un maggior onere se ammettesse un consumo di energia per luce superiore a quello effettivo, così è intuitivo che gli accordi tra le due parti potranno ritenersi corrispondenti alla verità.

Osserviamo infine che non solo dovremo impiegare per quanto possibile l'elettricità in sostituzione del carbone nella economia domestica, ma dovremo inoltre sviluppare presso di noi l'industria per la costruzione su vasta scala, in serie, degli apparecchi per tale applicazione per quanto in apparenza di non grande importanza industriale. Non debbonsi infatti disprezzare o negligere le modeste lavorazioni giacchè esse possono col tempo evolvere e costituire delle industrie cospicue. La genialità dei nostri artisti saprebbe senza dubbio dare a tali apparecchi, senza pregiudizio delle loro esigenze tecniche, un'impronta estetica perchè possano cooperare alla decorazione delle nostre abitazioni.

In questo nostro libro, piccolo per mole, abbiamo raccolto gran copia di cognizioni teoriche e pratiche che gioveranno sia a chi voglia produrre e sia a chi voglia usare il riscaldamento elettrico: al costruttore, all'esercente e all'utente. Che esso possa raggiungere lo scopo che si è proposto di destare presso di noi delle iniziative e delle attività in un campo modesto sì ma non del tutto trascurabile per la nostra auspicata rinascenza economica!

Maggio, 1918.

P. VEROLE.

Le unità fondamentali del sistema C. G. S. (centim.-grammo-secondo) sono
L, il centimetro — unità lineare;
M, il grammo — unità di massa, equivale alla massa di 1 grammo;
T, il minuto secondo di tempo medio — unità di tempo, equivale ad $\frac{1}{86400}$ del giorno solare medio.

Da esse derivano le unità assolute geometriche, meccaniche, elettriche, magnetiche ed elettro-magnetiche.

L'unità di velocità angolare è il **radiante** per secondo, il **radiante** essendo il valore dell'angolo il cui arco è eguale al raggio. 1 radiante = 57° 17' 44" circa.

L'unità di forza del sistema C. G. S. chiamasi **dina** ed è espressa da $L\,M\,T^{-2}$. E' la forza atta ad imprimere l'accelerazione di 1 centim. al secondo alla massa di un grammo.

L'unità di lavoro del sistema C. G. S. chiamasi **erg** ed è espressa da $M\,T\,L^{-2}$. Equivale al prodotto di 1 dina per 1 centimetro.

L'unità di potenza del sistema C. G. S. è espressa da L^2MT^{-3}. Equivale a 1 erg al secondo.

L'unità di intensità di campo magnetico o di densità magnetica del sistema C. G. S. è espressa da $L^{-\frac{1}{2}}\,M^{-\frac{1}{2}}\,T^{-1}$. E' l'intensità di un campo che esercita la forza di una dina sopra un polo di intensità unitaria situato nel campo. Denominasi **gauss.**

L'unità di flusso di forza del sistema C. G. S. è espressa da $L^{-\frac{3}{2}}M^{\frac{1}{2}}T^{-1}$. E' il flusso che attraversa 1 cent.^{2} normalmnete alla sua direzione allorchè l'intensità del campo è quella unitaria. Denominasi **maxwell.**

L'unità di forza magnetomotrice del sistema C. G. S. è espressa da $L^{\frac{1}{2}}\,M^{\frac{1}{2}}\,T^{-1}$. Denominasi **gilbert.** 1 gilbert = 0,8 ampère-giro.

Ohm. — Unità pratica di resistenza elettrica — equivale a 10^9 unità C. G. S. di resistenza elettrica. E' espressa da 10^9LT^{-1}. Può essere materialmente rappresentato dalla resistenza di una colonnetta di mercurio puro, alla temperatura del ghiaccio fondente, di sezione trasversale uniforme, della lunghezza di 106,3 centim., e della massa di 14,4521 grammi.

1 megohm = 10^6 ohm. 1 microhm = 1^{-6} ohm.

Ohmcentimetro. — Unità di resistenza elettrica specifica o di **resistività.** E' espresso da $10^9\,L^2\,T^{-1}$. La resistività di un corpo è la resistenza tra le due facce opposte di un cubo avente per lato 1 centimetro di detto corpo. La resistività per la generalità dei corpi è influenzata dalla loro temperatura. 1 microohcentimetro = 10^{-6} ohmcentimetri; 1 milliohmcentimetro = 10^{-3} ohmcentimetri.

Volta. — Unità pratica di forza elettromotrice — equivale a 10^8 unità C. G. S. E' espressa da $10^8L^{\frac{1}{2}}\,M^{\frac{1}{2}}\,T^{-2}$. E' la forza elettromotrice la quale, agendo in modo continuo su di un conduttore la cui resistenza è un ohm, produce la corrente di un ampère. E' eguale approssimativamente a $\frac{1000}{1434}$ della differenza di potenziale tra i poli di una coppia Clark, preparata secondo determinate prescrizioni, alla temperatura di 15° C

Ampère. — Unità pratica d'intensità di corrente — equivale a 10^{-1} unità C. G.S. di corrente. E' espressa da $10^{-1}\ L^{\frac{1}{2}}\ M^{\frac{1}{2}}\ T^{-1}$.

$$1 \text{ ampère} = \frac{1 \text{ volta}}{1 \text{ ohm}}.$$

E' approssimativamente la corrente costante che, attraversando una soluzione di nitrato d'argento nell'acqua, deposita argento nella ragione di grammi 0,001118 per minuto secondo.

Coulomb. — Unità pratica di quantità di elettricità — equivalente a 10^{-1} unità C. G. S di quantità di elettricità. E' espressa da $10^{-1}\ L^{-\frac{1}{2}}\ M^{\frac{1}{2}}$.

1 coulomb = 1 ampère × 1 secondo.

Un'altra unità pratica di quantità di elettricità è l'**ampère-ora.**

1 ampère-ora = 1 ampère × 3600 secondi = 3600 coulomb.

Joule. — Unità pratica di energia elettrica — equivale a 10^7 erg.

1 joule = 0.24 piccole calorie.

E' il lavoro fatto in 1 secondo da 1 ampère in 1 ohm.

Watt. — Unità pratica di potenza elettrica — equivale a 10^7 erg al secondo o a un joule al secondo.

1 kilowatt = 1000 watt = 0,24 calorie al secondo.

Watt-ora. — Lavoro di 1 watt durante un'ora — equivale a 3600 joule o a 0,863 calorie.

chilowatt-ora — equivale a 1000 watt-ore o a 0,24 calorie-ora.

Caloria. — Quantità di calore necessario per elevare di 1° C. la temperatura di 1 chilogramma d'acqua distillata, o, più esattamente, quantità di calore occorrente per portare 1 decagramma d'acqua distillata da 0° C. a 100° C. — equivale a 100 volte il calore specifico dell'acqua tra 15° C. a 18° C. o a 4170 joule.

Piccola caloria — equivale a $\frac{1}{1000}$ di caloria.

Caloria-ora. — Energia di una caloria al secondo durante un'ora — equivale a 15.012.000 joule o a 4,17 chilowatt-ora.

INTRODUZIONE

Il principio della unità e indistruttibilità dell'energia, che è il maggior vanto della filosofia naturale moderna, va ricevendo in seguito ai progressi dell'elettrotecnica sempre nuove importanti applicazioni.

E' noto che da molto tempo si trasforma il calore proveniente dalla combustione in lavoro meccanico per mettere in azione pompe e macchine utensili, macchine per filatura e tessitura, macchine generatrici dell'energia elettrica, ecc., abbruciando i combustibili nelle caldaie a vapore saturo o surriscaldato, od anche, se sono liquidi o gassosi, direttamente nei cilindri delle macchine motrici. E così pure, con le armi da fuoco, da più lungo tempo ancora si utilizza il calore svolto dalla polvere pirica per lanciare proiettili a grandi distanze.

Inoltre si è pure da lungo tempo osservato che le acque correnti gelano meno facilmente di quelle stagnanti; che comprimendo dell'aria si può provocare l'accensione di un gas o di un'esca; che i perni degli alberi di trasmissione in movimento e i relativi cuscinetti si scaldano, come si riscalda l'utensile di una pialla che stacca grossi trucioli di metallo, arroventandosi persino se non è soggetto all'azione di un lubrificante adatto, ad esempio, ad un getto d'acqua saponata; che si rende incandescente una barra di ferro sottoponendola ai colpi del maglio, ovvero premendola contro la periferia di un disco di acciaio che roti rapidamente intorno al proprio asse. Un'arma da fuoco si scalda meno se lancia la palla di quello che faccia sparando semplicemente a polvere perchè nel primo caso una maggior quantità di calore si converte in lavoro dinamico. Le piastre delle navi corazzate colpite da proiettili diventano incandescenti.

Da questi fatti ed altri molti, si riconobbe come nella stessa guisa che il calore si può trasformare in lavoro cinetico, reciprocamente questo si può trasformare in quello.

Ma però, prima che si fosse ottenuto di generare industrialmente la corrente elettrica, non si era ancora trovato un mezzo pratico per produrre, senza eccessiva dissipazione di energia, la conversione del lavoro dinamico in calore.

L'elettrotecnica offre ora un tale mezzo; e lo offre permettendo di utilizzare l'energia che il sole va perennemente accu-

mulando con tanta dovizia, insieme colla neve e col ghiaccio, sulle nostre Alpi e sui nostri Appennini. L'utilizzazione di questa energia sotto forma di calore si può effettuare anche a grandissime distanze, con alto effetto utile, senza bisogno di alcun apparecchio complicato e alcun organo in moto, oltre quelli ben noti (ruote o turbine idrauliche e dinamo o alternatori) richiesti per la trasformazione del lavoro delle rapide o dei corsi d'acqua in correnti elettriche.

Oh immensi e perenni ghiacciai che destate l'entusiasmo, la ammirazione ed il lirismo dell'alpinista, dello scienziato e del poeta, voi siete pure diventati dei grandi depositi, dei grandi magazzini o accumulatori di calore, e potete somministrarcelo, a nostra richiesta, in sostituzione di quello che generiamo direttamente, a mezzo dei combustibili, nei caminetti delle nostre abitazioni o nei forni delle nostre officine!

Ammettendo coi fisici che il calore altro non sia se non l'effetto di moti traslatori e rotatori, di vibrazioni o fremiti intestini della materia, si potrà agevolmente concepire come avvenga l'accennata trasformazione e trasmissione dell'energia delle correnti d'acqua, ritenendo che il movimento da queste, mercè ruote idrauliche o turbine, impresso alle macchine elettriche generatrici, venga partecipato, sotto forma di rapidissimi movimenti, alle molecole di quei corpi che sono destinati a fornire direttamente il calore. E' noto il modo con cui la lenta motrice dell'opificio trasmette delle grandi velocità agli utensili delle macchine operatrici. Orbene la differenza tra i due modi di trasmissione del moto, tra quello cioè dalle generatrici delle correnti elettriche alle sorgenti del calore e quello dalla motrice agli utensili, non consiste se non in questo, che nel secondo caso i movimenti avvengono tutti mediante organi intermedî visibili e rumorosi, alberi di trasmissione, ruote dentate o a frizione, funi, pulegge, ecc., mentrechè nel primo caso i movimenti si producono con l'intervento di un agente che nè si vede nè si ode. E' ormai lecito ritenere che il mezzo col quale l'energia dalle dinamo o dagli alternatori si propaga ai focolai elettrotermici, sia quello stesso etere imponderabile con cui viene a noi tutta l'energia chimica, calorifica e luminosa del sole.

Narra la mitologia che Prometeo fu così audace da strappare al cielo il fuoco in pro' degli uomini. Orbene, la tecnica moderna può essa compiere, sotto novella forma, l'opera titanica che la leggenda attribuì a Prometeo. E invero, il calore proveniente a noi dal sole, calore il quale provvidenzialmente, per non divenire esiziale alla vita vegetale e animale, provoca la formazione di quel vapore acqueo che sollevasi dal mare, dai fiumi e dai laghi per deporsi poi condensato sui monti e nelle valli, essa riescì ad appropriarselo e a metterlo perennemente a disposizione dell'uomo per temperare il rigore dell'inverno e soddisfare altri bisogni della vita civile. Essa compie così, in

vantaggio dell'umanità, la meraviglia, vagheggiata ma non realizzata dall'alchimista, di trasformare l'acqua in fuoco.

La natura ci ha dato una grande, una colossale macchina termica: l'atmosfera. Questa è senza ruote, è vero, senza cilindri, senza aste e stantuffi; ma pure è una vera macchina in quanto fa un continuo lavoro meccanico, quello cioè di sollevare dapprima delle grandi masse d'acqua ad altezze prodigiose, vincendone la forza di gravità, e lasciandole poscia in balia di questa. L'energia che compie questo enorme e incessante lavoro è il calore proveniente dal sole. E' in forza di questa macchina termica che quantunque tutti i fiumi affluiscano al mare, questo non ribocca. Una macchina non meno maravigliosa ha concepito e costrutto l'uomo, la quale compie un lavoro inverso: quello cioè di trasformare in calore il lavoro meccanico generato dal sole.

Dato uno sguardo sintetico a questa importante conquista ed alla mirabile armonia dei fenomeni fisici a cui si collega, ci faremo ad esaminare, giusta lo scopo che ci siamo proposto, le leggi che la governano e le sue differenti applicazioni all'economia domestica.

I.

Riscaldamento dei locali.

Il riscaldamento elettrico dei locali di abitazione può presentare degli importanti vantaggi, tra i quali meritano speciale menzione la nessuna produzione di gas o odori perniciosi o disaggradevoli, il quasi nessun pericolo di incendio, il nessun pericolo di esplosione, la grande moderabilità, l'indipendenza tra gli apparecchi riscaldanti, la grande facilità di adattamento sia agli edifici in corso di costruzione, come a quelli già costrutti, la limitata spesa d'impianto ed il rendimento assai elevato.

Anche quando il prezzo dell'energia elettrica con cui lo si produce sia elevato, il riscaldamento elettrico può tornare conveniente per i piccoli ambienti, come uffici, salottini, stanze da toeletta o da bagno, camere di albergo, camerini per artisti da teatro, ecc., ove occorra di produrvi un riscaldamento di breve durata. Inoltre può pure essere conveniente per evitare di azionare, consumandovi del combustibile, nelle giornate fredde che precedono o seguono la stagione invernale, i caloriferi ad aria, ad acqua o a vapore.

Analogamente il riscaldamento elettrico è da adottarsi, ancorchè risultasse relativamente costoso, in sostituzione delle tante dannose *parigine* che si usano per difetto di spazio e di camini nei piccoli negozi situati in vecchie case prive di apparecchi centrali di riscaldamento e dalle quali tuttavia i negozi stessi non potrebbero esulare, svolgendosi in essi, a cagione della loro felice ubicazione, dei traffici assai rimunerativi.

Inoltre il riscaldamento elettrico delle abitazioni è da preferirsi in quelle regioni, come, ad es., parte della Riviera Ligure e dell'Italia Meridionale, ove la clemenza del clima non giustificherebbe il costoso impianto di riscaldamenti centrali ad aria, ad acqua o a vapore, ed ove tuttavia si riscontrano delle giornate umide e fredde contro cui importa di premunirsi.

Di più il riscaldamento elettrico addirittura si impone nelle

cabine delle navi, le quali siano già provviste di installazioni elettriche pei servizi ausiliari, nonchè nelle vetture specializzate pel servizio delle tramvie e ferrovie elettriche, alimentate da centrali idrauliche o termiche.

Infine le abolizioni testè approvate delle tasse governative e comunali sull'energia elettrica consumata negli usi domestici, nonchè il rincaro dei combustibili e la loro limitata disponibilità, rendono in parecchi casi opportuna e talvolta indispensabile l'applicazione del riscaldamento elettrico anche a grandi ambienti, come camere da letto e di conversazione, uffici, aule scolastiche, chiese, ospedali, caserme, ristoranti, ecc.

Aggiungasi che il costo del riscaldamento elettrico potrà ridursi notevolmente quando si disponga per produrlo dei cosidetti cascami dell'energia elettrica da raccogliersi preventivamente in appropriati apparecchi di accumulazione detti *accumulatori elettrotermici.*

Diversi sistemi di apparecchi elettrici di riscaldamento.

Nello stato attuale dell'elettrotecnica vi sono due classi di apparecchi elettrici di riscaldamento delle abitazioni, che chiameremo indifferentemente *stufe elettriche* o *caloriferi elettrici.* Non ci serviremo in generale della denominazione *radiatori elettrici*, parendoci poco appropriata, giacchè, come si vedrà, molti di essi non forniscono punto in modo apprezzabile del calore raggiante.

Quelli della prima classe si fondano sulla ben nota legge di Joule, secondo la quale la corrente elettrica che circola in un conduttore vi genera una quantità di calore, che è direttamente proporzionale e alla resistenza ohmica del conduttore e al quadrato dell'intensità della corrente. Essi constano perciò semplicemente di conduttori così fatti e disposti da trasformare integralmente in calore l'energia elettrica che, sotto forma di corrente, vi viene somministrata nella quantità prevista, e cederlo direttamente o indirettamente all'ambiente. Il loro impiego è possibile tanto quando le correnti di cui si dispone sieno continue, come quando sieno alternative.

Quelli della seconda classe si basano invece sul principio che provocando in un corpo magnetico massiccio (ferro, ghisa, acciaio) dei flussi manetici alternativi, vi si svolge del calore. E' per questo motivo che, come ognuno sa, si suddividono in sottili lamelle isolate nella totalità o in parte i nuclei delle macchine generatrici e motrici elettriche nonchè tutti i nuclei dei trasformatori a correnti alternative. Questi ultimi caloriferi evidentemente non potrebbero essere adottati nel caso in cui le correnti da utilizzare per la produzione del calore fossero continue.

Tanto quelli della prima, come quelli della seconda classe, sono in ultima analisi degli apparecchi elettrici, essendochè non possono funzionare che a mezzo della corrente elettrica. Tuttavia, per distinguerli, denomineremo i primi *stufe* o *caloriferi a conduzione*, e i secondi *stufe* o *caloriferi magnetici*.

Importa di osservare subito che il riscaldamento elettrico in qualunque modo si produca ha un altissimo rendimento. Questo però, contrariamente a quanto comunemente si dice, non può raggiungere in ogni caso il 100 per 100. Nel solo caso eccezionale che gli apparecchi per la produzione e distribuzione della corrente elettrica sieno collocati nello stesso locale da riscaldare, tutta l'energia spesa sull'albero della macchina generatrice dell'energia elettrica sarà utilizzata a riscaldare il locale stesso. Negli altri casi sarà bensì del 100 per 100 il rendimento dell'energia elettrica fornita ai morsetti dei caloriferi, ma non già quello dell'energia elettrica presa ai morsetti del proprio generatore.

Caloriferi a conduzione.

Questi caloriferi si riscontrano costituiti da piastre, da fili o da nastri metallici nudi; da fili o da nastri metallici rivestiti da smalto od altro isolante; da fili o da nastri metallici allogati nelle sostanze isolanti; da sottilissimi depositi metallici nudi, applicati alla superficie esterna di vasi, anfore, ecc., in sostanza isolante; da resistenze nude in agglomerati metallo-ceramici; da resistenze in silicio agglomerato, sia nude, sia situate entro ampolle in cui si ottenne il vuoto pneumatico; da miscugli granulari contenenti in particolare dei silicati; da lampade ad incandescenza e ad arco, da resistenze liquide e infine da altre resistenze, come da carbone finemente polverizzato e più o meno compresso, ecc.

Generalmente nella pratica, per la produzione del riscaldamento elettrico si ricorrerà ad una differenza di potenziale sensibilmente uniforme, generata da un impianto per l'illuminazione o per la trasmissione dell'energia meccanica, ed essa potrà essere di direzione costante od alternativa. In questo secondo caso gli apparecchi elettrici di riscaldamento saranno costruiti in guisa da eliminarvi gli effetti di autoinduzione, talchè essi produrranno gli stessi risultati termici come se fossero soggetti ad una differenza di potenziale continua eguale alla differenza di potenziale efficace da cui sono attivati. Diremo in seguito come si potrà annullare o almeno rendere insignificante l'azione ostruzionista dell'autoinduzione (V. pag. 104).

Le figure da 1 a 5 indicano i modi di trasmissione dell'energia dalle centrali generatrici agli apparecchi di riscaldamento

secondochè questa è fornita sotto forma di correnti continue, monofasi o trifasi. Come vedesi, gli apparecchi di riscaldamento si inseriscono nelle distribuzioni allo stesso modo delle lampade.

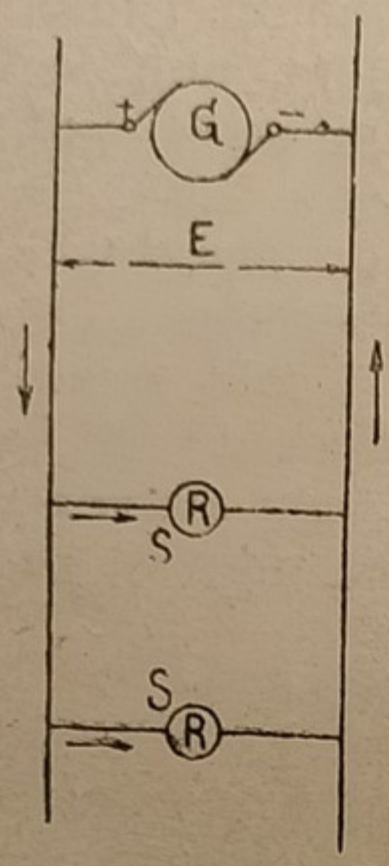


Fig. 1. — Alimentazione con corrente continua.

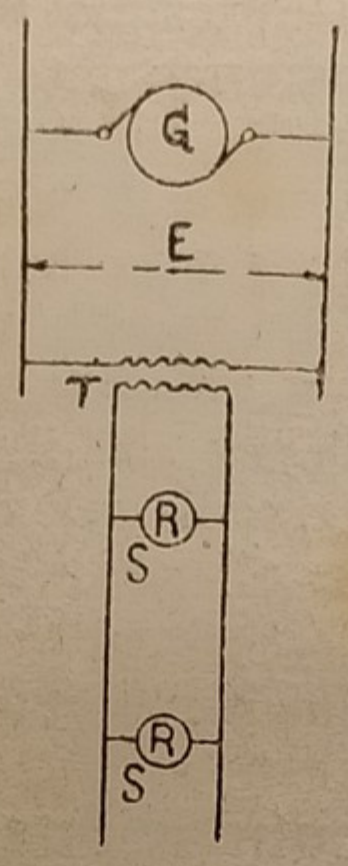


Fig. 2. - Alimentazione con corrente monofase.

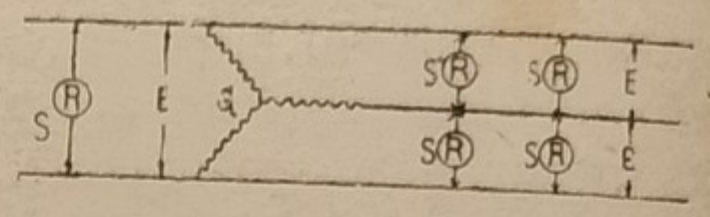


Fig. 3. — Alimentazione con corrente trifase. Distribuzione a stella.

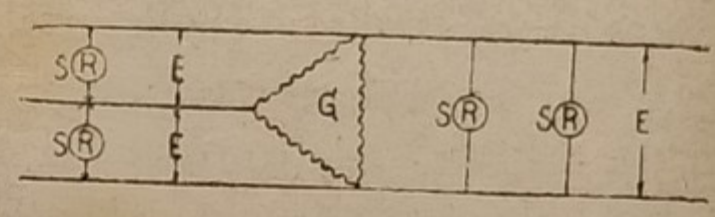


Fig. 4. — Alimentazione con corrente trifase. Distribuzione a triangolo.

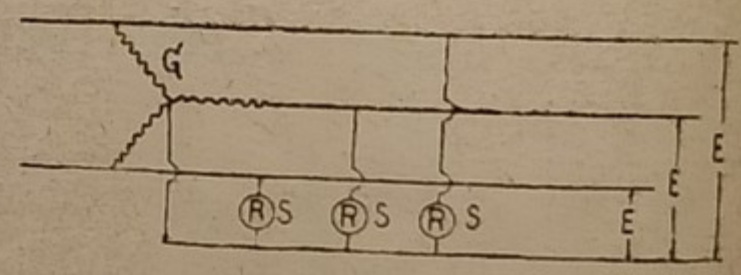


Fig. 5. — Alimentazione con corrente trifase mediante quattro conduttori.

Figure da 1 a 5. — Diversi modi di alimentazione degli apparecchi di riscaldamento.

G — generatore elettrico.
R — derivazioni.
S — stufe.
T — trasformatore statico.
E — tensione utile

N. B. — Nelle figure 3, 4 e 5 venne omessa, per semplificare, l'indicazione dei trasformatori statici. Si potrà anche ammettere che G vi rappresentino, invece degli alternatori, i trasformatori statici.

Come le lampade, essi debbono essere protetti da valvole di sicurezza, fusibili od elettromagnetiche, destinate ad interrompervi il circuito elettrico nell'eventualità che, in causa di corti circuiti, l'intensità delle correnti tenda a raggiungere quel limite che le renderebbe pregiudizievoli.

Caloriferi costituiti da resistenze metalliche nude in forma di fili, nastri e piastre.

Determinazione della resistenza ohmica.

Quanto si dirà a riguardo della determinazione delle resistenze destinate a cedere calore sussiste sieno continue o alternative le correnti alimentatrici. Nel secondo caso però al concetto di *intensità* di corrente devesi sostituire quello di *intensità efficace*, la quale, come è noto, ammesso che le correnti sieno sinusoidali, come sono quelle dei caloriferi soggetti ad una differenza di potenziale sinusoidale e privi di masse magnetiche, risulta eguale a 707 millesimi dell'intensità massima.

Ciò premesso chiamiamo E in volta il valore della differenza di potenziale costante in intensità e segno oppure il valore efficace della differenza di potenziale se questa è alternativa sinusoidale, Q_1 la massima quantità oraria del calore in calorie da fornirsi all'ambiente, ed R la resistenza in ohm, che il calorifero o il gruppo di caloriferi dovrà avere perchè sia suscettibile di produrre Q_1. In base alle leggi combinate di Joule e di Ohm, si potrà stabilire la relazione:

$$\frac{4170\, Q_1}{3600} = \frac{RE^2}{R^2} = \frac{E^2}{R},$$

da cui ricavasi

$$R = 0.863\, \frac{E^2}{Q}. \qquad (1)$$

Conosciuto il valore della resistenza R si deciderà in quante stufe, supposte identiche e disposte in derivazione, sia opportuno di ripartirla.

Noto così il valore ohmico della resistenza R^1 corrispondente a ciascuna stufa, valore che dovrà corrispondere alla temperatura a cui emetterà il calore Q_1^1, essendo Q_1^1 il valore di Q diviso pel numero delle stufe, bisognerà determinarne le dimensioni.

A tale scopo si noti innanzi tutto che tale resistenza sarà conveniente di ripartirla in più elementi, suscettibili di essere collegati tra di loro in quantità, in serie e per gruppi, nonchè di essere anche esclusi in parte dal circuito, affinchè possa assumere altri valori, oltre quello massimo già noto, onde sia possibile di far variare l'azione termica dell'apparecchio di riscaldamento. La massima produzione del calore si raggiungerà, evidentemente, allorchè gli elementi saranno disposti in quantità, nel qual caso la loro resistenza complessiva dovrà essere uguale al valore R^1 che emerge dall'equazione (1).

Ammettiamo che questi elementi, perfettamente identici ed aventi la resistenza ohmica r, sieno in numero di n. Risulterà:

$$R^1 = \frac{r}{n}.$$

Se i detti elementi sono disposti in serie, saranno tutti percorsi da una corrente di intensità

$$I^1 = \frac{E}{n\ r},$$

laddove, se sono in quantità, la corrente che circolerà in ciascuno di essi avrà il valore

$$I = \frac{E}{r}.$$

L'intensità della corrente che alimenta ciascun elemento potrà adunque variare dal valore massimo

$$\frac{E}{r},$$

al valore minimo

$$\frac{E}{n\ r},$$

ed assumere inoltre dei valori intermedi allorchè gli elementi si disporranno per gruppi. Conseguentemente, la quantità oraria di calore prodotto dagli n elementi potrà essere di calorie

$$Q^1_1 = 0{,}863\ \frac{n\ E^2}{r} = 0{,}863\ \frac{E^2}{R^1},$$

oppure di calorie

$$Q^1_2 = 0{,}863\ \frac{E^2}{n\ r} = 0{,}863\ \frac{E^2}{n^2\ R^1},$$

oppure avere dei valori intermedi tra questi due.

Determinazione del numero degli elementi componenti la resistenza ohmica.

Che valore converrà di assegnare ad n? Evidentemente, mentre colla disposizione in derivazione degli elementi della resistenza, si deve essere in grado di somministrare la massima quantità oraria di calore Q^1_1, che moltiplicata pel numero prestabilito delle stufe potrà occorrere all'ambiente durante gli inverni più rigidi nell'avviamento del riscaldamento; agli elementi disposti in serie, dovrà corrispondere quella quantità oraria di calore Q^1_2 che è richiesta nelle stagioni invernali più miti. Il valore Q^1_2 si calcolerà allo stesso modo di Q^1_1; esso esprimerà quella minima quantità oraria di calore che si dovrà somministrare in modo continuo per un lasso di tempo non indifferente dell'inverno. Occorrendo di avere per qualche giorno un riscaldamento ancora meno intenso, basterà far funzionare il calorifero, già disposto per la minima produzione, in modo intermittente, anzichè continuo.

Inutile aggiungere che se si dispone di più stufe si potrà

ottenere una maggior graduabilità del riscaldamento dell'ambiente facendo variare oltre la potenza delle singole stufe anche il numero delle stufe simultaneamente in attività.

I valori di Q_1^1 e Q_2^1 si calcoleranno ricorrendo ai noti procedimenti che sono esposti in tutti i trattati sulla tecnologia del calore. Le temperature invernali occorrenti per la loro determinazione si potranno desumere dagli annali di meteorologia.

Approssimativamente si potrà ritenere che pel riscaldamento degli ambienti occorrano da 1/2 a 1 watt per m.^{3} da riscaldare e per grado centigrado della differenza tra le temperatura interna e esterna.

Conoscendo Q_1^1 e Q_2^1, si potrà ottenere n dalle seguenti relazioni:

$$Q_1^1 = 0{,}863 \frac{E^2}{R^1} = 0{,}863\, n \frac{E^2}{r},$$

$$Q_2^1 = 0{,}863 \frac{E^2}{n\, r},$$

dalle quali ricavasi

$$\frac{Q_1^1}{Q_2^1} = n^2,$$

$$n = \sqrt{\frac{Q_1^1}{Q_2^1}}. \qquad (2)$$

Se il valore numerico di n risulta intero, lo si adotterà; se risulta frazionario, si potrà facilmente, dopo qualche tentativo, riconoscere se convenga sostituirlo col numero intero immediatamente superiore o con quello immediatamente inferiore, e così pure se sia il caso di mantenere invariato il valore di

$$r = R^1 \sqrt{\frac{Q_1^1}{Q^1}}$$

ovvero di adottare in sua vece uno dei valori che di esso danno le espressioni di Q_1^1 e di Q_2^1 quando vi si pongano i valori interi di n.

Esempi numerici.

Qualche esempio numerico servirà a meglio precisare il procedimento da seguirsi ed a chiarire quale sia il grado di approssimazione di cui è suscettibile,

Suppongasi:

$$E = 500 \text{ volta},$$
$$Q_1 = 30000 \text{ calorie},$$
$$Q_2 = 1900 \text{ calorie}.$$

Sarà:

$$R = 0{,}863 \frac{\overline{500}^{2}}{30000} = 7{,}19 \text{ ohm}.$$

Se si ammette l'impiego di una sola stufa si avrà

$$Q_1 = Q_1^1$$
$$Q_2 = Q_2^1$$
$$n = \sqrt{\frac{30000}{1900}} = 3{,}97,$$
$$r = 3{,}97 \times 7{,}19 = 28.54 \text{ ohm}.$$

Adottando questo valore di r e ponendo $n = 4$, si otterranno rispettivamente per Q_1^1 e Q_2^1 i seguenti valori:

$$Q_1^1 = 0{,}863 \times 4 \times \frac{\overline{500}^{2}}{28{,}54} = 30237 \text{ calorie},$$

$$Q_2^1 = 0{,}863 \frac{\overline{500}^{2}}{4 \times 28{,}54} = 1889 \text{ calorie}.$$

Si ritenga ora $n = 4$ e $r = 4$ R $= 28{,}76$ ohm. Si avrà evidentemente

$$Q_1^1 = 30000 \text{ calorie}$$

e inoltre

$$Q_2^1 = 0{,}863 \frac{\overline{500}^{2}}{4 \times 28{,}76} = 1875 \text{ calorie}$$

Supponendo sempre $n = 4$, ed assegnando ad r il valore corrispondente che gli è dato dall'espressione di Q_2^1, nella quale si ponga $Q_2^1 = 1900$ calorie, e cioè il valore 28,42 ohm, mentre evidentemente sarà

$$Q_2^1 = 1900 \text{ calorie},$$

si avrà inoltre

$$Q_1^1 = 0{,}863 \times 4 \times \frac{\overline{500}^{2}}{28{,}42} = 30364 \text{ calorie}.$$

E' superfluo di effettuare i calcoli supponendo $n = 3$ e $r = 28{,}54$ ohm, giacchè subito si vede che in tale ipotesi si

avrebbero valori di Q_1^1 e Q_2^1 troppo discosti da quelli prestabiliti. Inoltre, se ammettendo $n = 3$ si attribuisse a r il valore dato dalla espressione di Q_1^1, in cui si ponga $Q_1^1 = 30.000$ calorie, e cioè il valore di 21,575 ohm, si otterrebbe per Q_2^1 un valore eccessivo, mentre per contro risulterebbe insufficiente il valore di Q_1^1, se r avesse il valore emergente dalla espressione di Q_2^1 per $Q_2^1 = 1900$ calorie, e cioè quello di 37,82 ohm.

Tutte le tre coppie di valori testè ottenuti di Q_1^1 e Q_2^1 e cioè quelli

a cui corrispondono $n = 4$ e $r_1 = 28,54$ ohm
» » $n = 4$ e $r_2 = 28,76$ »
» » $n = 4$ e $r_3 = 28,42$ »

appariranno abbastanza soddisfacenti. Tuttavia saranno da prescegliersi le condizioni $n = 4$ ed $r = 28,42$ ohm per la ragione che, mentre da un lato si avrebbe la garanzia di ottenere la temperatura minima prefissa, si potrebbe pure, d'altro lato, non oltrepassare la temperatura massima, interrompendo per qualche intervallo l'ammissione della corrente alle resistenze in derivazione.

Supponendo invece

$$E = 110 \text{ volta},$$
$$Q_1^1 = 4000 \text{ calorie},$$
$$Q_2^1 = 1000 \text{ calorie},$$

si avrà

$$R^1 = 2,61 \text{ ohm} \qquad n = 2$$
$$r = 5,22 \text{ ohm}.$$

Per ottenere la potenza massima e minima del calorifero basterà adunque in questo caso disporre rispettivamente in derivazione o in serie le due resistenze r di 5,22 ohm ciascuna.

Differenti valori della potenza termica.

Si osservi che disponendo altrimenti i quattro elementi della stufa, aventi ciascuno la stessa resistenza r_1, o r_2, oppure r_3, si potranno ottenere altre assai diverse produzioni di calore. E infatti i detti elementi, oltrechè tutti in derivazione o tutti in serie, potranno essere disposti in guisa:

a) che un solo elemento sia inserito nel circuito e gli altri tre ne siano esclusi (fig. 6);

b) che due elementi siano inseriti in serie nel circuito e gli altri due ne siano esclusi (fig. 7);

c) che due elementi siano intercalati in derivazione nel circuito e gli altri due ne siano esclusi (fig. 8);

d) che tre elementi siano intercalati in serie nel circuito e l'altro ne sia escluso (fig. 9);

e) che tre elementi siano intercalati in derivazione nel circuito e l'altro ne sia escluso (fig. 10);

f) che due elementi tra loro in derivazione e in serie con un terzo elemento siano inseriti nel circuito e il quarto elemento ne sia escluso (fig. 11);

g) che la coppia di due elementi in derivazione tra di loro sia inserita in serie nel circuito cogli altri due (fig. 12);

h) che tre elementi tra loro in derivazione siano inseriti in serie nel circuito col quarto elemento (fig. 13);

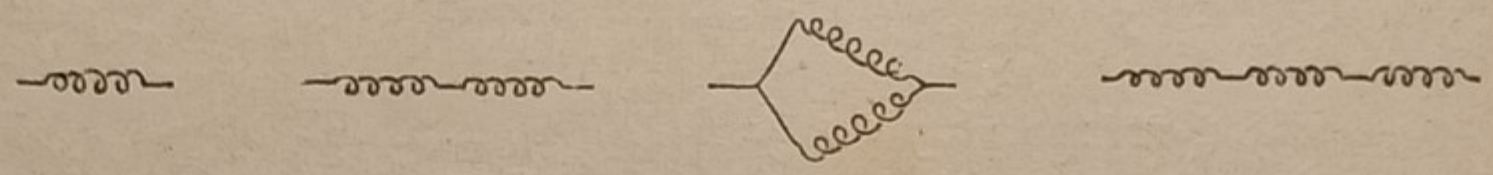


Fig 6. Fig. 7. Fig. 8. Fig. 9.

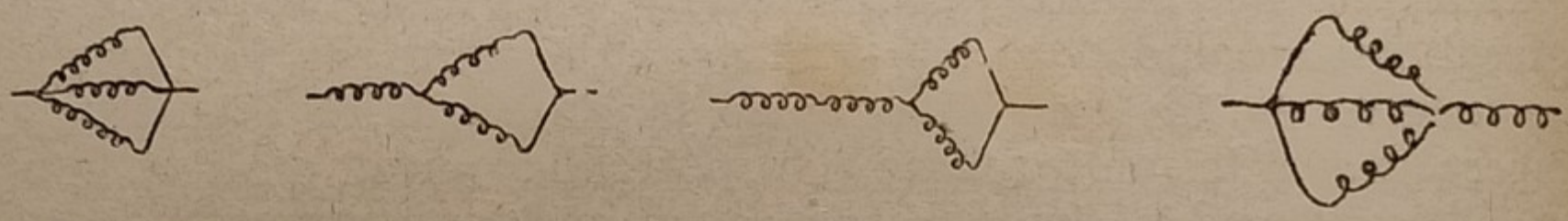


Fig. 10. Fig. 11.. Fig. 12. Fig. 13.

Fig. 14. Fig. 15.

Fig. 16. Fig. 17.

Fig. da 6 a 17. — Modi diversi di regolazione della capacità calorifica di una stufa elettrica.

i) che tre elementi tra di essi in serie siano disposti nel circuito in derivazione col quarto elemento (fig. 14);

l) che un elemento sia escluso dal circuito e due elementi tra di essi in serie vi siano disposti in derivazione col quarto elemento (fig. 15);

m) che due elementi in serie siano posti nel circuito in derivazione con gli altri due elementi (fig. 16)

n) che due elementi tra essi in derivazione siano nel circuito in serie con gli altri due elementi pure fra loro in derivazione (fig. 17) (caso questo a cui corrisponde lo stesso offetto termico ma, come si vedrà, non la stessa temperatura del caso *a*).

In ciascuna delle disposizioni rappresentate dalle figure 7, 8, 9, 10 e 17 i diversi elementi sono simultaneamente percorsi da

correnti della stessa intensità. Inoltre lo stesso è il valore delle correnti che circolano negli elementi delle disposizioni 6, 8 e 10.

Alle accennate disposizioni da *a)* ad *n)* incluse corrisponderanno rispettivamente le seguenti produzioni orarie di energia termica:

Per $r_1 = 28{,}54$ ohm

a) $0{,}863 \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{28{,}54} = 7560$ . . . . calorie circa

b) $0{,}863 \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{2 \times 28{,}54} = 3780$ . . . . » «

c) $0{,}863 \times 2 \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{28.54} = 15120$ . . . » «

d) $0{,}863 \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{3 \times 28{,}54} = 2520$ . . . . « «

e) $0{,}863 \times 3 \times \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{28{,}54} = 22679$ . . » »

f) $0.863 \times 3 \times \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{3 \times 28{,}54} = 5040$. » »

g) $0.863 \times 2 \times \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{5 \times 28{,}54} = 3024$. » »

h) $0{,}863 \times 3 \times \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{4 \times 28{,}54} = 5670$. » »

i) $0{,}863 \times 4 \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{3 \times 28{,}54} = 10080$ . . » »

l) $0{,}863 \times 3 \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{2 \times 28{,}54} = 11940$ . . » »

m) $0{,}863 \times 5 \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{3 \times 28{,}54} = 18900$ . . » »

n) $0{,}863 \times 4 \dfrac{\overline{500}^{\,2}}{4 \times 28{,}54} = 7560$ . . » «

Per $r_2 = 28{,}76$ ohm :			Per $r_3 = 28.42$ ohm :		
a)	7502	calorie circa	*a)*	7591	calorie circa
b)	3731	» »	*b)*	3796	» »
c)	15004	» »	*c)*	15183	» »
d)	2501	« »	*d)*	2530	» »
e)	22505	» »	*e)*	22774	» »
f)	5001	» »	*f)*	5061	» »
g)	3001	» »	*g)*	3037	» »
h)	5626	» »	*h)*	5693	» »
i)	10000	» »	*i)*	10121	» «
l)	11255	» »	*l)*	11386	» »
m)	18755	» »	*m)*	18978	» «
n)	7502	» »	*n)*	7591	» »

Altri modi di regolare la potenza termica.

Le quantità orarie di calore massima e minima Q_1^1 e Q_2^1 che si otterranno attribuendo il valore così determinato ad n quando questo non risulta intero, si riterranno in generale sufficientemente approssimate pei bisogni della pratica, tanto più quando si consideri che i procedimenti a cui devesi ricorrere per determinare Q_1^1 e Q_2^1 non possono addurre, come è ben noto, a risultati rigorosi.

Volendo però che una delle due accennate quantità di calore conseguisca una maggiore approssimazione, basterà, mantenendo invariato il valore di n, di modificare r per modo che esso non abbia più il valore di n R^1 ma bensì un valore intermedio tra i due valori di r che risultano dalle espressioni di Q_1^1 e Q_2^1 nelle quali n rappresenti il numero intero accennato.

Inoltre, se si volesse, si potrebbero pure produrre con tutta esattezza i prefissi valori di Q_1^1 e Q_2^1 assegnando, ad esempio, ad r quel valore che è dato dalla espressione di Q_1^1 nell'ipotesi che n sia il numero intero superiore e più vicino a $\sqrt{\frac{Q_1^1}{Q_2^1}}$.

In tal caso, mentre evidentemente Q_1^1 risulterà dalla disposizione in derivazione degli n elementi, per ottenere Q_2^1 bisognerà collegare in serie non più gli n elementi, ma bensì $n - 1$ ele-

menti con una frazione di elemento o, in altri termini, dagli n elementi disposti in serie bisognerà escludere una porzione di elemento. Il valore di questa frazione risulterà dall'equazione:

$$Q_1' = 0{,}863 \frac{E^2}{(n - x)\, R^1},$$

da cui ricavasi

$$x = n - 0{,}863 \frac{E^2}{Q_1' R^1}.$$

Nel caso concreto considerato più sopra, il valore numerico di x sarebbe espresso da

$$4 - \frac{0{,}863 \times \overline{500}^2}{28{,}8 \times 1900} = 0{,}06;$$

dal che si deduce che per produrre esattamente le 1900 calorie orarie, bisognerebbe escludere dalla catena costituita dalle quattro resistenze di 28,8 ohm ciascuna disposte in serie, una resistenza eguale a $0{,}06 \times 28{,}8 = 1{,}728$ ohm.

Lo stesso risultato di ottenere le precise quantità orarie di calore prefisse Q_1' e Q_2^1 si può pure raggiungere accordando ad r, in luogo del valore che risulta dalla espressione di Q_1^1, quello che emerge dalla espressione di Q_2^1 nella quale si sia attribuito ad n il valore intero immediatamente superiore a

$$\sqrt{\frac{Q_1^1}{Q_2^1}}.$$

In questo caso, mentre disponendo in serie le n resistenze, si avrà evidentemente la esatta produzione Q_2^1, se si disponessero semplicemente in derivazione le stesse n resistenze, si otterebbe una quantità oraria di calore superiore a Q_1^1. Orbene, perchè questo non avvenga, basterà inserire o in ogni singola derivazione o soltanto in una di esse, una determinata resistenza.

Che valore dovrà avere questa resistenza x_1 nell'ipotesi che debba essere intercalata in ogni derivazione? Evidentemente esso risulterà dall'equazione:

$$Q_1^1 = 0{,}863\, n \frac{E^2}{r + x_1},$$

da cui ricavasi

$$x_1 = \frac{0{,}863\, n\, E^2}{Q_1^1} - r.$$

Nella supposizione invece che la resistenza addizionale com-

peta ad una sola derivazione, per ottenerne il valore ohmico x_2 si ricorrerà all'equazione

$$Q_1^1 = 0{,}863 \frac{E^2}{\frac{n-1}{r} + \frac{1}{r + x_2}},$$

dalla quale si desume

$$x_2 = r \left(\frac{E^2}{r\, Q_1^1 - (n-1)\, 0{,}863\, E^2} - 1 \right).$$

Giusta i valori numerici già assunti, si avrebbe

$$x_1 = 28{,}42 \frac{0{,}863 \times 4 \times 500}{30000} - 28{,}42 = 0{,}347 \text{ ohm},$$

$$x_2 = 28{,}42 \left(\frac{0{,}863 \times 500^2}{28{,}42 \times 30000 - 3 \times 0.863 \times 500^2} - 1 \right) = 1{,}43 \text{ ohm}.$$

Tralascieremo dall'analizzare il caso in cui il valore numerico di n risultando più vicino al numero intero immediatamente inferiore che non a quello intero immediatamente superiore, converrà evidentemente di assegnare ad n l'accennato valore inferiore, essendochè dopo il già detto ne è ovvia la soluzione.

Influenza della temperatura della resistenza ohmica sulla potenza termica.

I calcoli esposti presuppongono che il valore della resistenza elementare si mantenga costante allorchè varia la quantità oraria di calore da essa emessa. Invece tale valore può subire delle oscillazioni perchè codesta resistenza è influenzata dalla propria temperatura, la quale alla sua volta dipende dalla intensità della corrente che percorre essa resistenza, e conseguentemente dalla anzidetta quantità di calore. Di quale ordine sarà l'errore da cui, in causa dell'ipotesi fatta, saranno affetti cotesti calcoli?

Si potrà ammettere con sufficiente approssimazione che la temperatura sia la stesso in ogni punto della resistenza benchè sia inferiore alle estremità di questa cedendo da esse calore anche ai serrafili di giunzione col circuito esterno.

Supponiamo, giusta quanto si dirà in seguito, che sia di 90° C. la temperatura supposta uniforme dei conduttori allor-

chè forniscono la massima quantità oraria di calore, e cioè 30000 calorie, e di 15° C. la temperatura dell'ambiente riscaldato. Secondo questa ultima ipotesi, è evidente che dovrà essere superiore a 15° C. la temperatura dei conduttori corrispondente alla produzione della minima quantità oraria di calore, e cioè quella di 1900 calorie; il valore t_0 in C di questa temperatura si potrà ottenere dalla seguente relazione che si desume da formole che avremo presto occasione di discutere (V. pag. 39).

$$\frac{1900}{30000} = \frac{(90 - 15)^{1,233}}{(t_0 - 15)^{1,233}},$$

dalla quale si ricava $t_0 = 23°$ C. circa.

Questo valore minimo della temperatura corrisponde al caso in cui tutte le resistenze elementari sieno disposte in serie e cioè, come si disse, al caso della minima produzione complessiva del calore. Però può avvenire colle disposizioni *h*) e *g*) (pag. 26 a 28) che per quanto la produzione complessiva del calore non sia minima, in alcuni elementi della resistenza la temperatura risulti eguale od anche leggermente inferiore a quella che assumono gli elementi stessi quando sono disposti in serie, e cioè a 23° C. (V. pag. 52).

Non si sarà pertanto discosti dal vero nel ritenere che allorquando i conduttori del calorifero sono attivi, la loro temperatura possa oscillare sino di 70° C. durante i periodi di regime.

Come non sarà sfuggito, si è ora implicitamente ammesso ch le resistenze elettriche destinate a fornire il calore sieno collocate negli stessi ambienti abitabili da riscaldare, essendosi supposto che sia in ogni caso di 15° C. la temperatura dell'aria che circonda i conduttori riscaldanti. Se codeste resistenze fossero all'esterno di tali ambienti ovvero da essi separate (V. fig. 18) perchè riscaldino l'aria prima che venga introdotta negli ambienti stessi, avrebbe valori diversi, a seconda delle diverse occorrenze di energia termica, la temperatura dell'aria che le avvolge.

Una tale circostanza non infirmerebbe però quanto si sta per dire.

Se si ammette che il valore di *r* che si introdusse nelle formole che servirono alla determinazione delle quantità orarie di calore prodotte, corrisponda alla temperatura di 90° C., nessuna modificazione sarà da apportarsi ai valori massimi Q_1^1 mentre i valori minimi Q_2^1 dovrebbero essere accresciuti in ragione del rapporto

$$\frac{1 + 0,004265 \times 90}{1 + 0,004265 \times 23} = 1,26,$$

se la resistenza che è la sede della produzione termica è di rame ricotto, essendo per questo eguale a 0,004265 il coefficiente di temperatura proposto dalla Commissione elettrotecnica internazionale.

E così pure, reciprocamente, se si ritiene che il predetto valore di r corrisponda alla temperatura di 23° C., i valori minimi Q_2^1 non subirebbero variazioni, laddove i valori massimi Q^1 dovrebbero essere ridotti in ragione del rapporto $\frac{1}{1.26}$.

Se la resistenza fosse di ferro galvanizzato aumenterebbe ancora più sensibilmente colla temperatura il suo valore ohmico.

Approssimativamente si può ritenere che l'influenza della temperatura sulla resistività del ferro sia tale che applicando alle estremità di un filo di ferro una differenza di potenziale crescente, l'intensità della corrente vi si mantiene quasi costante per tutti i valori della differenza di potenziale compresi entro determinati limiti (ad es. da 8 a 15 volta per una determinata resistenza).

Secondo le esperienze di Nicolai la resistività del ferro aumenta da microohmcent. 10,681 a microohmcent. 16,63 nel passare dalla temperatura di 0° C. a quella di 100° C.

Appare da ciò che la temperatura dei conduttori riscaldanti di rame o di ferro esercita un'influenza non strascurabile sulla loro produzione oraria di calore; e come pertanto nelle calcolazioni di essi si debba avere cura di ammettere che il valore della resistenza r assunta corrisponda ad un valore intermedio della temperatura tale che, mentre risulti osservata la condizione che la produzione oraria massima di calore non sia mai inferiore a quella prefissa, non si discostino troppo dai valori previsti quelle altre quantità orarie di calore che più importa di conseguire.

Si richiama a questo proposito l'attenzione del lettore sulla circostanza che le temperature dei conduttori riscaldanti, supposti collocati nello stesso ambiente, saranno tutte tra loro eguali nel caso delle disposizioni *b*), *c*), *d*), *e*) e *n*) sopra considerate.

Se la resistenza è di argentana, l'aumento della resistività dipendente dall'aumento di temperatura è assai piccolo e si può trascurare.

Nella seguente tabella si porgono i valori della resistività e del coefficiente di temperatura di conduttori di varia natura che possono essere impiegati nel riscaldamento elettrico.

Resistività in microohmcentimetri a 15° C. e coefficienti medî di temperatura tra 0° C. e 100° C. di parecchi metalli e leghe.

METALLI	Resistività	Coefficienti di temperatura tra 0° C. e 100° C.
Acciaio	17	0,004
Alluminio ricotto	3	0,0039
Argento ricotto	1,58	0,0038
Ferro comune	14	0,004
Ferro svedese	12	0,0019
Nichelio	13,8	0,062
Oro	2,19	0.0037
Piombo	20·7	0,0034
Platino	10,95	0.0035
Rame elettrolitico ricotto	1,66	0,0044
Rame industriale puro	1,69	0,0039
Stagno	13,92	0,0037
Zinco	5,63	0,0037
LEGHE		
Argentana	30	0,00035
Bronzo di alluminio (10 % di alluminio)	12.50	0,001
Bronzo fosforoso	5,93	0,0039
Concordin	100	0,00044
Constatana (rame 58, manganese 1, nichelio 41)	50	0.00003
Eureka	49,5	0
Excelsior I	86	0.0007
Excelsior II	58	0 00138
Excello	91.6	0.00016
Ferro al silicio (1 % di silicio)	28,7	0,002
Ferro al silicio (2,5 % di silicio)	60	0,0015
Maillechort (rame 60, zinco 25, nichelio 15)	30	0,00036
Manganina (rame 84, nichelio 4, manganese 12)	46,7	0
Nichelina A (rame 61,5, zinco 19,6, nichelio 18,4, manganese 0,2, cobalto 0,1, ferro 0.2)	33,2	0,0003
Nichelina B (rame 54,5, zinco 20,4, nichelio 24,4, manganese 0,2, ferro 0,5)	45	0.00033
Nichromal (nichelio, cromo, alluminio)	100	0,00044
Ottone	8,32	0,0039
Platino-argento	31.2	0.000245
Platinoide	33.12	0,00024
Rame-manganese (rame 70, manganese 30)	100,6	0
Reostat na	48	0
Reotana (rame 53,28, zinco 16,58, nichelio 25,31, ferro 4,46, manganese 0,67)	52÷	0,00041
Resistina	50÷52	0
Therlo	46,7	0

Considerazioni sulla resistenza ohmica.

Non sarà fuor di luogo notare qui essere erroneo il credere che per ottenere una grande quantità di calore in un conduttore alimentato da corrente continua o alternativa, sotto differenza di potenziale costante occorra che il conduttore abbia una grande resistenza elettrica. Al contrario più è piccola la resistenza e più grande è la quantità di calore che vi si svolge per effetto Joule. E' bensì vero che per ottenere alte temperature ed anche l'incandescenza in alcune parti del circuito è necessario che queste abbiano una piccola sezione trasversale, ma ciò soltanto perchè la materia onde sono costituiti risulti di poca entità a fronte del suo calore specifico e delle calorie che vi si producono, essendo questa condizione indispensabile affinchè subiscano la notevole elevazione di temperatura richiesta. Ma si obbietterà che nelle distribuzioni di energia elettrica si adottano dei conduttori di piccola resistività e cioè di rame e si assegnano ad essi dimensioni anche ragguardevoli appunto per ridurvi la perdita in calore. E questo è vero; ma devesi osservare che in questo caso la perdita è da riferirsi al lavoro utile e che essa diviene tanto minore rispetto a questo quanto è minore la resistenza dei conduttori che servono al trasporto della corrente a fronte di quella ove ne avviene la utilizzazione.

In parecchi caloriferi elettrici, come si vedrà, si impiegano dei conduttori di alta resistività; ma ciò non già per aumentarne la potenza termica, ma bensì o per ottenere a parità di lunghezza una superficie trasmettente calore maggiore di quella che offrirebbero corpi di grande conduttività, ovvero allo scopo di produrre del calore ad alta temperatura ed anche luminoso.

Evidentemente il calore può occorrere, a seconda dell'uso cui vuolsi destinarlo, in diverse condizioni; e se i fisici ammettono che esso sia una forma inferiore, una degradazione della energia, perchè è quella sotto cui si manifestano in generale nelle macchine le perdite del lavoro dinamico, è pure da ammettersi che esso abbia un valore industriale diverso a seconda della sua temperatura, e che un tale valore sia tanto maggiore quanto più grande è questa temperatura, e ciò in correlazione ai principii delle macchine termiche in base ai quali tanto più è alta la temperatura del calore da trasformarsi in lavoro cinetico, e tanto maggiore ne è la utilizzazione. Ma tale concetto sul valore gerarchico, diremo così, sia delle diverse energie e sia di una stessa energia a seconda delle sue condizioni, non può avere una grande importanza pratica. Negli apparecchi di cui ci occupiamo il calore è l'energia utile, è quella che li anima; e però vi assume una importanza capitale.

D'altro lato degli apparecchi stessi il rendimento se non la efficienza è indipendente dalla temperatura, e inoltre il calore a temperatura assai elevata non vi sarebbe in generale convenien te per le ragioni che esporremo: pertanto non si potrebbe ritenere che il valore dell'energia termica che vi si svolge sia crescente colla propria temperatura. Invece negli apparecchi per cucinare elettricamente, come si vedrà, il rendimento cresce colla temperatura.

Predeterminazione delle dimensioni della resistenza ohmica.

Conoscendo la resistenza ohmica elementare r del conduttore nudo immerso nell'aria se ne dovranno determinare le dimensioni. Si osservi a tale effetto che la quantità di calore che viene emessa da un conduttore percorso da una corrente e circondato dall'aria dipende da parecchie circostanze, e cioè dalla differenza della sua temperatura sia con quella dell'aria in contatto e sia con quella dei corpi verso cui può irradiare calore, dalla sua costituzione superficiale e così pure dalla costituzione superficiale di questi ultimi, dalla sua forma geometrica e dalle sue dimensioni, dalle condizioni dell'aria circondante, che può essere sensibilmente allo stato di riposo ovvero avere una differente velocità, sia in intensità che in direzione, e un diverso grado igrometrico, e infine dal modo con cui è disposto nello spazio.

Una tale quantità di calore è la risultante di due distinte: una emessa per irradiazione, che non è influenzata dalla presenza dell'aria e che è la stessa allorquando tra il corpo irradiante e i corpi verso cui avviene l'irradiazione si produce il vuoto pneumatico, e l'altra ceduta per convessione o per contatto coll'aria circostante, e che dipende da questa, per modo che svanirebbe se vi si producesse il vuoto pneumatico, mentre assume valori differenti secondochè l'aria è in istato di quiete ovvero si muove, secondochè è secca od umida e a seconda inoltre della velocità e della direzione del suo movimento rispetto al corpo riscaldante che si considera.

La convessione dicesi *libera* quando l'aria in cui si produce è calma, quando cioè i moti convettivi vi sono dovuti esclusivamente al corpo riscaldante che si considera, e *forzata* quando l'aria è agitata da movimenti d'origine estranea alla convessione stessa.

E' bene però subito notare che se, come verificasi nei caloriferi elettrici, i conduttori, in forma di filo o di nastro, destinati a cedere direttamente calore all'aria sono metallici, lisci e relativamente lucenti, il calore che essi irradiano intorno a sè, almeno per salti di temperatura non elevatissimi, è ben

poca cosa e si può trascurare. Le classiche esperienze di Melloni, di Dulong e Petit, di Masson e Pêclet, di La Provostaye e Desains e di altri dimostrano infatti che il potere termico raggiante dei corpi metallici, e così pure quello termico assorbente, è tanto più grande quanto più è scura la loro superficie, mentre diviene assai lieve allorchè questa ha la lucentezza, anche non molto brillante, dello zinco. Da esperimenti dovuti a Kennelly risulta che un filo di rame non lucidato irradia a 126° C. su corpi a 26° C. circa 0,068 calorie per cent.^{2} all'ora.

Questi risultati furono pure confermati da esperienze che la Società per le strade ferrate *Paris-Lyon-Méditerranée* effettuò allo scopo di ricercare i mezzi per ridurre al minimo il disperdimento del calore dall'involucro delle caldaie delle locomotive. Tali esperienze condussero a formulare le seguenti conclusioni: 1° la pulitura e lucidatura dei metalli ha per effetto di ridurne sensibilmente il disperdimento del calore per irradiazione; 2° sotto uno strato di coloritura la natura del metallo non ha più alcuna influenza sull'irradiazione e questa dipende esclusivamente dalle condizioni della superficie esterna della coloritura.

Interessanti esperienze vennero pure fatte da Guglielmo Schüppel intorno alla influenza dei differenti colori sulla trasmissibilità esterna del calore.

Esse ebbero per oggetto una molla di acciaio, analoga alle molle degli orologi, della lunghezza di m. 1,50, della larghezza di 2 mm. e dello spessore di mm. 0,152, che si dispose tesa tra due morsetti nell'aria, sia tranquilla, sia corrente, dividendola in parti uguali, le quali, ad eccezione di una che si lasciò nuda e di un'altra che si rivestì con nero fumo, si colorirono in modo diverso. Nella molla così predisposta si fece circolare una corrente elettrica di 1/10 di ampère. L'eccesso della temperatura di ogni sezione della molla sull'aria ambiente venne misurato dal relativo aumento di resistenza. Fu subito notato che la porzione di metallo nudo si scaldava più rapidamente, di tanto che la sua temperatura oltrepassava di 100° C. quella dell'ambiente, mentre le altre porzioni colorate non accusavano che l'eccesso da 80° a 82° C. La porzione di metallo che meno si riscaldò fu quella rivestita da nero fumo. Il suo potere emissivo risultò del 30 per cento superiore a quello del metallo nudo in una corrente alla velocità di m. 2,2 al''. Quanto al potere emissivo dei diversi colori si può conchiudere che esso oltrepassa quello del metallo nudo del 12 % nell'aria in riposo e del 14 % in una corrente di aria.

Devesi però assegnare allo strato di tintura un debolissimo spessore, se non vuolsi che la sua resistenza interna alla trasmissione del calore annulli in parte gli effetti del maggiore potere emissivo della superficie colorata a fronte di quella nuda.

Aggiungasi infine che un'altra circostanza concorre, almeno in generale, a rendere ancora più trascurabile l'irradiazione del

calore dai caloriferi elettrici costituiti da fili o da nastri metallici nudi ed è che le loro resistenze, per ragioni costruttive, dovranno in parte corrispondersi, guardarsi o mascherarsi che dir si voglia, mentre tra di esse sarà interposta soltanto dell'aria. Orbene, le superfici di tali resistenze, che direttamente si corrispondono, saranno nella generalità alla stessa temperatura, sicchè non potrà avvenire apprezzabile scambio di calore raggiante fra di esse; e perciò la sottrazione del calore per effetto della irradiazione si troverà limitata a quelle piccole superfici delle resistenze che sono rivolte verso l'involucro del calorifero e verso le pareti od oggetti dell'ambiente.

Per queste ragioni si ammetterà, salvo casi eccezionali, che il calore vi sia ceduto soltanto per convessione.

* * *

In tale ipotesi, come si potranno predeterminare le dimensioni della resistenza elementare del calorifero, prefissa che sia la differenza massima della sua temperatura con quella dell'aria da riscaldare?

La scelta di questo massimo salto di temperatura è assai importante. Da un lato è utile che sia ragguardevole perchè il calorifero risulti meno voluminoso, ingombrante e costoso; d'altra parte invece, specie quando devesi provvedere al riscaldamento di ambienti signorili, importa che esso sia tale da non provocare odori disaggradevoli, abbruciando od anche semplicemente alterando il polviscolo contenuto nell'aria. Perchè si possano conciliare in modo abbastanza soddisfacente queste condizioni occorrerà che sia di circa 90° C. la temperatura delle resistenze allorchè saranno percorse dalla massima corrente. Una tale temperatura offre anche il vantaggio di non pregiudicare la conservazione delle resistenze nude in metalli comuni, che mal reggono invece a lungo a temperature più elevate.

In tal caso, ammesso che sia di —20° C. la temperatura minima dell'aria da riscaldare, potrà raggiungere anche il valore di 110° C. il salto utile od attivo della temperatura.

Questo valore potrà riscontrarsi a lungo soltanto allorchè, come del resto è raccomandabile, il riscaldamento sia collegato colla ventilazione, nel qual caso l'aria fredda è richiamata dall'esterno e non entra nel locale di abitazione se non dopo avere circolato entro o intorno agli apparecchi di riscaldamento (v. fig. 18). Quando invece i caloriferi sono disposti

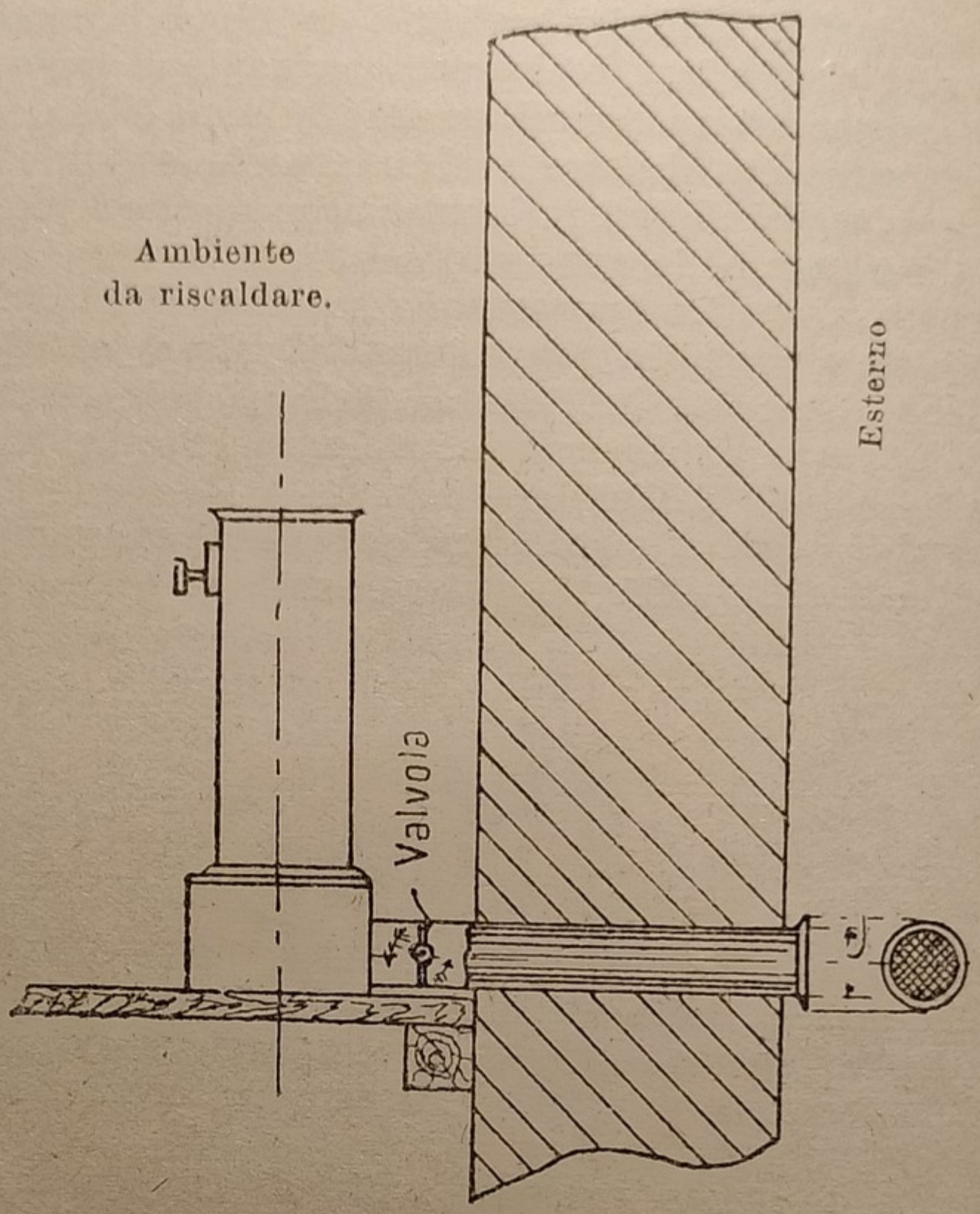


Fig. 18. - Stufa con presa d'aria dall'esterno.

e vi attingono l'aria in questo stesso locale (fig. 19), avendo essi per effetto di mantenervi costante durante il regime la

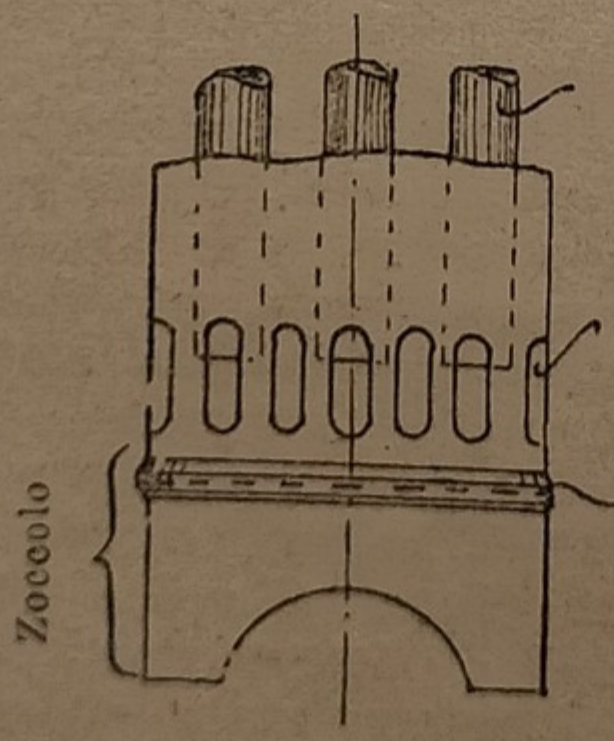


Fig. 19 - Elevazione.

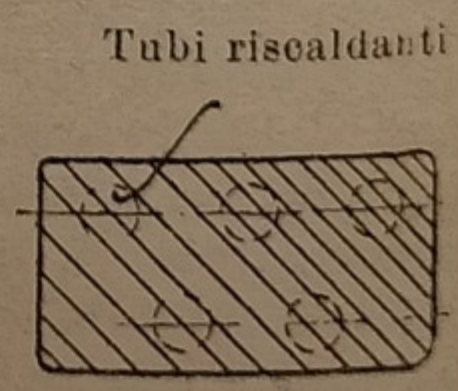


Fig. 20
Sezione secondo il registro.

Fig. 19 e 20. — Disposizione per evitare che nella stufa penetrino le esalazioni del pavimento quando la stessa (ad es. del tipo rappresentato dalla fig. 63 a pag. 83) riceve l'aria, che deve circolarvi internamente, dal-

temperatura di 15° C., il massimo salto di temperatura, fatta eccezione del breve periodo di avviamento, non potrà essere che di circa 75° C.

L'esperienza dimostra che in generale, sì per l'uno come per l'altro caso, e specialmente pel primo, non sussiste più l'ipotesi newtoniana, secondo la quale l'energia termica ceduta crescerebbe proporzionalmente alla differenza di temperatura tra il corpo che trasmette e quello che riceve calore.

Si richiami perciò la formola empirica trovata da Dulong e Petit e riconosciuta sufficientemente esatta da Péclet per differenze $t—t^1$ non superiori a 250° C.:

$$Q = C\,a\,(t—t^1)^{1,233},$$

in cui rappresentano

Q la quantità di calore in calorie ceduta all'ora da 1 mq. di superficie riscaldante;

t la temperatura in centg. di questa superficie;

t^1 la temperatura in centg. dell'aria circostante;

a il coefficiente di convessione; questo coefficiente può variare da punto a punto della superficie: in questo caso esso esprimerà un valore intermedio;

C una costante eguale a 0,552.

Come si dimostrerà, questa formola pel coefficiente costante e pei valori che, giusta il Péclet, implicherebbe sieno assegnati ad a, non è applicabile ai fili; da parecchi segni è però lecito arguire essere vera anche pei fili la legge che essa esprime: che per una identica superficie, la quantità di calore trasmesso è proporzionale alla differenza delle temperature in C. elevata all'esponente 1,233. Accurate indagini esperimentali in proposito sarebbero però assai opportune.

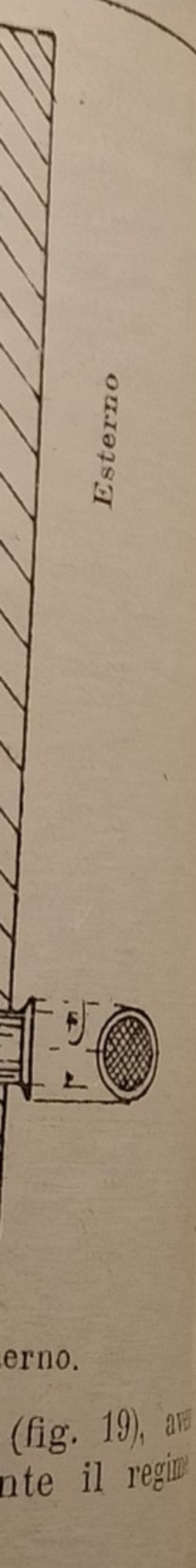
Per semplificare l'uso di questa formola, la si trasformi in quest'altra:

$$Q = x\,a\,(t—t^1), \qquad (3)$$

nella quale $x = C\,(t—t^1)^{0,233}$.

La formola (3) ammette che a sia indipendente dalla temperatura e che Q cresca più rapidamente che non $t—t^1$. Alcuni autori sogliono invece ritenere che Q cresca proporzionalmente a $t—t^1$ e che a sia variabile colla differenza di temperatura. Da questi due modi di considerare l'espressione di Q ne sono sorti equivoci e malintesi che importa di evitare. A tale scopo riterremo sempre a indipendente dalla temperatura.

Il coefficiente di convessione cambia pure di valore colle variazioni della pressione atmosferica e col grado igrometrico dell'aria, ma in modo praticamente trascurabile nei limiti entro cui tali variazioni avvengono negli ambienti abitati da riscaldare.



erno.

(fig. 19), av
nte il regim

Tubi riscaldat

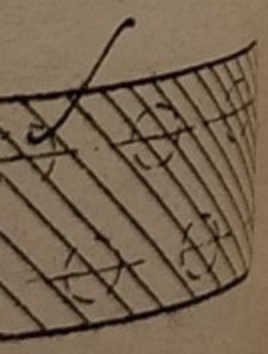


Fig. 20
zione seconde
il registro.

tufa penetra
ipo rappres
mente

Resistenze filiformi.

Ciò posto, consideriamo innanzi tutto il caso in cui il calorifero sia formato da conduttori metallici filiformi.

Giusta la formola (3), chiamando d il diametro e l la lunghezza del filo costituente la resistenza elementare r, si avrà che la quantità q di calore che da essa resistenza emana sarà espressa da

$$q = x\, a\, \pi\, d\, l\, (t - t^1),$$

ritenendo che il calore sia tutto ceduto all'esterno dalla superficie longitudinale esterna, mentre una piccolissima parte di esso è trasmessa agli attacchi.

Ma q, come vedemmo precedentemente, è pure dato dalla relazione

$$q = 0.863\, \frac{E^2}{r} = 0{,}863\, \frac{E^2}{\rho \frac{4\, l}{\pi\, d^2}},$$

ove E è la differenza di potenziale ai capi della resistenza elementare e ρ la resistività del metallo onde è costituita.

Si potrà adunque stabilire l'equazione

$$x\, a\, \pi\, d\, l\, (t - t^1) = 0{,}863\, \frac{E^2}{\rho \frac{4\, l}{\pi\, d^2}},$$

dalla quale, ricordando che $I = \frac{E}{r} = \frac{E}{\rho \frac{4\, l}{\pi\, d^2}}$, si ricaverà

$$a = c^1 \frac{I^2}{d^3\, (t - t^1)}, \qquad (4)$$

essendo $$c^1 = \frac{4 \times 0{,}863 \times \rho}{x \times \pi^2}$$

per gli stessi valori di $t - t^1$ una costante per conduttori della stessa natura che si può facilmente determinare.

La formola (4) esprime la relazione che deve intercedere tra a e d affinchè la resistenza elementare r produca la prefissa quantità oraria di calore q. Per progettare convenientemente questa resistenza bisognerà adunque assegnarle quel diametro d a cui corrisponderà il valore a dato dalla formola (4).

Si noti a tale effetto che il Pêclet, premesso che il coefficiente di convessione dipende non dalla natura del corpo riscaldante, ma bensì soltanto dalla sua forma geometrica e dalla sua disposizione nello spazio, nonchè dalle condizioni dell'aria che lo circonda, propose delle formole empiriche (di cui dovremo servirci in seguito), le quali furono riprodotte in quasi tutti i

trattati sulla tecnologia del calore senza preventivo controllo, a riguardo sia delle superfici piane e cilindriche, disposte tanto orizzontalmente che verticalmente, e sia di quelle sferiche, supposte sì le une che le altre in un ambiente atmosferico tranquillo, tale cioè che l'aria non possa muoversi che per effetto dello squilibrio termico prodotto dal calore ad essa ceduto dalle superfici stesse.

Siffatte formole, stabilite in base ad esperienze effettuate entro limiti ristretti, vennero in seguito arbitrariamente generalizzate; ma noi non dobbiamo assolutamente accoglierle pel caso presente, giacchè se le applicassimo, ad esempio, anche a fili non molto sottili, si troverebbe che il loro coefficiente di convessione dovrebbe essere maggiore quando sono disposti orizzontalmente che non quando sono disposti verticalmente, il che è contraddetto non solo dall'esperienza, ma anche da una elementare considerazione.

E invero, perchè il coefficiente di convessione è influenzato dalla posizione che il corpo trasmettente calore occupa nello spazio? Perchè da una tale posizione l'aria circostante, ammesso che sia tranquilla, ripete la sua maggiore o minore attitudine a rinnovarsi intorno alla superficie riscaldante e ad asportarvi del calore. Se, ad esempio, il corpo che cede calore è una parete piana collocata orizzontalmente per modo che tocchi a mezzo della sua faccia inferiore l'aria destinata a ricevere il calore, questa si dilaterà, diventerà meno densa, e non solo non si allontanerà dalla parete, ma tenderà a mantenervisi maggiormente aderente. In tale caso assai piccolo dovrà essere il coefficiente di convessione in causa della debole conduttività termica dell'aria allo stato di riposo. Ma se invece la stessa parete piana disposta orizzontalmente fosse in contatto, non più colla sua faccia inferiore, ma bensì con quella superiore, coll'aria da riscaldare, ne risulterà che questa, man mano che riceverà del calore, dilatandosi e divenendo più leggera, si solleverà per far posto ad altra aria meno calda, la quale, dopo essersi riscaldata, si innalzerà essa pure per venir sostituita da altra, e così via via. In questo secondo caso, assai maggiore che non nel precedente dovrà essere il valore del coefficiente di convessione.

Dopo di ciò apparirà certo evidente che, contrariamente alle deduzioni che si otterrebbero coll'uso delle formole empiriche di Péclet, collocando i fili verticalmente si dovrà avere un maggior coefficiente di convessione che non collocandoli orizzontalmente, giacchè nella prima posizione l'aria, riscaldandosi, facilmente si solleverà avvolgendo i fili tutt'intorno, a mo' di una guaina, mentre nella seconda posizione l'aria che tocca i fili dal disotto sarà assai ostacolata nel suo movimento ascensionale.

Ma v'ha di più: per dimostrare la inapplicabilità delle formole di Péclet ai fili sottili, basterà riflettere che supponendo questi, ad esempio, del diametro di $^1/_2$ mm. e della lunghezza di 2 m., il coefficiente di convessione, giusta tali formole, diverrebbe eguale a

$$\left(0{,}726 + \frac{0{,}0345}{\sqrt{0{,}0005}}\right)\left(2{,}43 + \frac{0{,}8758}{\sqrt{2}}\right) = 6{,}74$$

pei fili verticali, e a

$$2{,}058 + \frac{0{,}0382}{0{,}0005} = 78{,}458!$$

pei fili orizzontali.

Resta adunque ben assodato che le formole del Péclet non sono atte alla determinazione numerica del coefficiente di convessione dei fili, e che pertanto sarebbe assai opportuno che i trattatisti, i quali le riportano, dichiarassero in quali condizioni furono ottenute dal loro illustre autore ed entro quali limiti esse sieno sufficientemente approssimate pei bisogni della pratica, onde evitare che i principianti incorrano, come pur troppo è accaduto, in errori grossolani.

Importa però subito considerare che se le accennate formole di Péclet estese ai fili, come si è dimostrato, profondamente dissentono nei riguardi quantitativi dai fatti sperimentali, concordano però pienamente con questi allorchè affermano che il coefficiente di convessione è influenzato dalla direzione dei fili e che inoltre, a parità di altre circostanze, esso cresce rapidamente col diminuire del loro diametro.

Dobbiamo aggiungere che, per quanto almeno è a nostra cognizione, se vennero effettuate delle ricerche esperimentali assai interessanti (tra le quali meritano di essere ricordate quelle di Cardani, Sala, Kennelly, Wright, Van Bylevelt, Le Roy, Erlacher) intorno al riscaldamento provocato dalle correnti elettriche in fili di ferro e di rame, rettilinei e disposti verticalmente e orizzontalmente, e in fili di nichelina avvolti a spirale, non si è però in possesso di formole che permettano di calcolare di volta in volta pei fili il coefficiente di convessione quando siano note la forma geometrica del loro asse, le loro dimensioni e la loro condizione e disposizione nello spazio.

E però ci si consenta di far voti che, leggendo queste righe, qualche abile esperimentatore, il quale disponga dei mezzi adatti, si proponga di riempire una tale lacuna nel campo sperimentale, rivolgendo in particolare le indagini intorno ai fili in forma di elica, siano essi quasi completamente circondati dall'aria o avvolti sopra nuclei isolanti, i quali fili sono generalmente quelli con cui negli apparecchi elettrici di riscaldamento si ottiene la trasformazione dell'energia elettrica in energia termica. Da una abbondante messe di risultati esperimentali ottenuti su fili ad elica in condizioni assai differenti, e

cioè con valori diversi, sia del diametro proprio, sia del passo e del diametro dell'elica che raffigurano, e tanto quando l'asse di questa è orizzontale, come quando è verticale o comunque inclinato, devesi poter assurgere a formole o tabelle abbastanza approssimate pei bisogni della pratica che porgano il coefficiente di convessione in funzione di codesti elementi. Nè le ricerche sarebbero da limitarsi al caso di ambienti atmosferici tranquilli, ma dovrebbero bensì estendersi al caso in cui l'aria avvolgente le eliche abbia velocità preesistente, onde conseguire gli elementi necessari per ben progettare non solo i caloriferi destinati a funzionare in locali non ventilati, ma anche quelli il cui funzionamento è in correlazione colla ventilazione, sia che questo direttamente la provochi o concorra a provocarla, sia che questa si ottenga indipendentemente da esso mercè apparecchi meccanici, elettrici, idraulici, oppure mediante camini di richiamo.

In codeste ricerche, d'indole assai delicata, le temperature dei fili si otterranno determinandone accuratamente, mediante un voltmetro e un milliamperometro, la resistenza r_0 quando essi non sono percorsi da correnti riscaldanti ed hanno la stessa temperatura dell'ambiente e le resistenze r_1, r_2, ecc. quando vi circolano le correnti riscaldanti, che si misureranno a mezzo di un amperometro, e ricorrendo poscia alle formole

$$r_1 = r_0 \left[1 + \beta (t_1 - t_0)\right]$$

$$r_2 = r_0 \left[1 + \beta (t_2 - t_0)\right]$$

. . . . . .

nelle quali se la temperatura dell'ambiente è di 15° C, β è eguale a $\frac{1}{234,5+t_0} = \frac{1}{249,5}$ pel rame, a circa 0.004 pel ferro, a 0,00035 per l'argentana e a 0,00033 per la nichelina.

Conoscendosi così i valori delle resistenze sotto differenti temperature e quelli delle rispettive correnti circolanti, si potranno determinare le quantità di calore cedute dai fili, nelle condizioni di equilibrio termico, in corrispondenza alle differenze tra tali temperature e la temperatura dell'ambiente.

Sul coefficiente della condultività termica esterna dei fili.

I risultati dei diversi esperimentatori sul coefficiente della conduttività termica esterna dei fili metallici nudi nell'aria sono assai discordanti.

Secondo Sala, ad esempio, che esperimentò su fili di ferro e di rame disposti verticalmente, codesto coefficiente è quasi indipendente dall'eccesso della temperatura dei fili su quella dell'aria ambiente per valori di questo sino a 140° C., il che sa-

rebbe in contraddizione colla nota legge empirica di Dulong e Petit. Ad analoghi risultati pervenne Le Roy, esperimentando su fili di argento. Secondo Cardani invece, che esperimentò su fili di ferro e di rame disposti orizzontalmente, il coefficiente stesso varia del 22 % per fili di 0,5 millimetri quando il dislivello di temperatura si eleva da 10° C. a 50° C., e del 16 % per fili di 1 mm. per la stessa elevazione di temperatura.

Le esperienze di Barbieri sui fili di rame non sono attendibili, giacchè esse dànno pei coefficienti di conduttività esterna dei valori crescenti col diametro dei fili. E invero, dalla tabella che riassume tali esperienze risulta che per la differenza di temperatura di 40° C. e pei diametri di millimetri 0,52, di mm. 1 e di mm. 1,52, le radici quadrate di tali coefficienti sono rispettivamente proporzionali a 167, a 228 e a 275. Collimano approssimativamente con quelli di altri esperimentatori soltanto i risultati ottenuti da Barbieri su fili di rame del diametro di mm. 2,04.

Analizzando un gran numero di esperienze tra le più attendibili, abbiamo riconosciuto che per fili non molto sottili (di diametro non inferiore a $^1/_2$ mm.) e per differenze di temperatura non minori di 50° C., sussiste approssimativamente la formola di Dulong e Petit, in cui in luogo di 0,552 si ponga 0,43, Q si riferisca al minuto '' e si assegnino i valori seguenti al coefficiente di convessione:

Fili verticali.

Diametro in mm.	Coeff. di convessione in piccole calorie al '' per mq.
0,5	19
0,8	15 » »
1	14 » »
2	12 » »
3	11 » »

Fili orizzontali.

Diametro in mm.	Coeff. di convessione in piccole calorie al '' per mq.
0,5	10,6
1	6,5 » »
2	4,1 » »
3	3,1 » »

Da qui risulta che le quantità di calore fornite da ogni metro corrente di filo per ogni grado cent. di eccesso di temperatura sull'aria ambiente, espressa questa temperatura da 0,43 $(t-t')^{1,233}$, essendo t e t' rispettivamente le temperature in gradi cent. del filo e dell'aria, sono le seguenti:

Fili verticali.

Da 0,5 mm. di diametro 107 piccole calorie all'ora.
» 1 » » 162 » »
» 2 » » 266 » »
» 3 » » 397 » »

Fili orizzontali.

Da 0,5 mm. di diametro 60 piccole calorie all'ora.
» 1 » » 73 » »
» 2 » » 93 » »
» 3 » » 105 » »

I valori di x che occorrono per determinare la costante c' della formola (4) sono esposti nella seguente tabella per differenze di temperatura comprese tra 21° C. e 130° C., ammettendoli uniformi tra 21° C. e 25° C., tra 26, C. e 30° C., e così via via:

Valori del coefficiente x di rettificazione della differenza di temperatura $t - t'$

$$x = 0{,}43\ (t - t')^{0{,}233}$$

VALORI di $t - t'$ in gradi C. inclusi		VALORI di x	VALORI di $t - t'$ in gradi C. inclusi		VALORI da x
tra	e		tra	e	
21	25	0,909	76	80	1,192
26	30	0,948	81	85	1,209
31	35	0,983	86	90	1,224
36	40	1,015	91	95	1,241
41	45	1,042	96	100	1,256
46	50	1‘068	101	105	1,270
51	55	1,094	106	110	1,274
56	60	1,115	111	115	1,298
61	65	1,136	116	120	1,310
66	70	1,158	121	125	1,323
71	75	1,174	126	130	1,335

Da quanto si espose risulta come negli apparecchi di riscal-

damento sia da preferirsi, per accrescerne la efficienza, la disposizione verticale a quella orizzontale dei fili riscaldanti.

Per i fili sottilissimi (da mm. 0,1 a mm. 0,07) disposti orizzontalmente, Kennelly, Wright e Van Byleveit trovarono che la quantità di calore ceduta all'aria ambiente, supposta tranquilla, può essere espressa approssimativamente da

$$8{,}64\ (4 + 64\ d)$$

piccole calorie all'ora per m. lineare e per grado centigrado di differenza di temperatura tra i fili e l'aria ambiente, essendo d il diametro di questi in centm.

Questa formola potrebbe a primo aspetto condurre a ritenere che il calore emesso dai fili sia proporzionale al salto di temperatura intercedente tra di essi e l'aria; ma analizzando i risultati ottenuti dagli esperimentatori si apprende che ciò non é e che il calore si trasmette in quantità sensibilmente superiore a quella che risulterebbe dalla semplice proporzionalità col salto di temperatura. La formola citata, la quale è soltanto approssimata, si stabilì infatti assegnando alla quantità di calore riferita ai differenti salti di temperatura espressi in gradi centigradi un valore costante pari alla media dei valori ottenuti esperimentalmente.

La formola stessa dà un risultato assai prossimo al dato esposto a pag. 44 pei fili del diametro di mezzo millimetro.

I detti esperimentatori si occuparono pure della influenza della pressione sulla convessione libera e trovarono che il calore ceduto da un filo orizzontale di diametro d in centimetri sotto la pressione di p atmosfere è eguale a quello ceduto alla pressione di una atmosfera moltiplicato per

$$p^{0{,}9\sqrt[3]{d}}.$$

Supponendo che la pressione dell'aria varii da 1 atmosfera a atm. 0,75, la quantità di calore emessa da un filo da 0,5 mm. disposto orizzontalmente diminuirà nel rapporto da uno a

$$0{,}75^{0{,}9\sqrt[3]{0{,}05}} = 0{,}91,$$

e cioè di circa un decimo.

Essi determinarono inoltre la convessione forzata limitatamente sempre ai fili sottilissimi di diametro non superiore a mm. 0,1 facendo colpire i fili tesi, normalmente al loro asse, da correnti d'aria alla velocità da m. 2 a m. 20 al''; e conclusero che in queste condizioni il calore ceduto da un filo di diametro d in cent. per m. corr. e per ogni grado centigr. di differenza di temperatura è approssimativamente eguale a piccole calorie

$$8{,}64\ (3 + 580\ d)\sqrt{v},$$

essendo v la velocità dell'aria espressa in cent. al minuto ".

Ne risulterebbe che un filo orizzontale da 0,1 mm. di diametro che nell'aria tranquilla fornirebbe a questa alla pressione normale durante un'ora 40 piccole calorie per ogni metro di lunghezza e pel salto di un grado centigrado, sottoposto alla azione di un vento in direzione normale alla velocità di 20 m. al minuto " fornirebbe invece nello stesso tempo e per lo stesso salto di temperatura $8,64\ (3 + 580 \times 0,01)\ \sqrt{2000} = 340$ piccole calorie circa.

Da qui si scorge quanto grande sia l'efficacia della ventilazione nel favorire la trasmissione convettiva del calore.

Infine in modo quasi inapprezzabile si palesò l'influenza del diverso grado igrometrico dell'aria sulla quantità di calore trasmessa in causa della convessione forzata.

Esempi numerici.

Quale sarà la quantità di calore fornita da un metro corrente di filo del diametro di 1 millimetro disposto verticalmente nell'aria calma se la differenza della sua temperatura con quella dell'aria circostante è di 75° C.? Essa sarà di circa

$$162 \times 0,43 \times 75^{1,233} = 163 \times 1,174 \times 75 = 14250$$

piccole calorie all'ora.

Un filo del diametro di 2 m/m disposto orizzontalmente nell'atmosfera tranquilla, lungo m. 1,34 e la cui temperatura ecceda di 118° C. quella dell'ambiente emetterà durante un'ora

$$1,34 \times 93 \times 1,31 \times 118 = 19264 \text{ piccole calorie}$$

Altra espressione del diametro della resistenza filiforme.

La formola (4) può essere posta sotto la forma

$$I = \alpha\, d^{\frac{3}{2}}, \qquad (5)$$

ove I è espresso in ampère e d in millimetri, e ove α ha il valore

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{a\,(t - t')\,x}{0,863\,\rho_t}}$$

se a è espresso in piccole calorie all'ora per millimetro quadrato, ed il valore

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{4170\,x\,(t - t')\,a}{\rho_t}}$$

se a è espresso in piccole calorie al minuto " per millimetro quadrato, essendo ρ_t espresso in decimiliohmcent.;

ρ_t vi rappresenta la resistività del filo a $t°$ C., ed è eguale a $\rho\,(1 + \beta\,t)$, essendo ρ la resistività del filo a 0° C. e β il relativo coefficiente di temperatura.

α pei fili verticali di rame e di ferro disposti verticalmente ha i valori seguenti:

Valori di α pei fili di ferro disposti verticalmente.

Differenza di temperatura in gradi cent.	Diametro *d* del filo in mm.				
	0,5	0,8	1	2	3
30°	6,25	5,55	5,40	5,00	4,75
40°	7,35	6,50	6,20	5,85	5,60
50°	8,25	7,35	7,05	6,55	6,30
75°	10,10	8,95	8,70	8,05	7,70
100°	11,60	9,95	9,20	9,20	8,85

$\rho = 0,125$ decimilliohmcent.

$\beta = 0,0045$

Valori di α pei fili di rame disposti verticalmente.

Differenza di temperatura in gradi cent.	Diametro *d* del filo in mm.				
	0,5	0,8	1	2	3
30°	18,00	15,70	15,20	14,04	13,45
40°	20,80	18,40	17,80	16,50	15,80
50°	23,40	20,75	20,00	18,60	17,80
75°	28,70	25,45	24,06	22,75	21,80
100°	32,90	29,20	28,20	26,00	25,00

$\rho = 0,0156$ decimilliohmcent.

$\beta = 0,004$

A seconda della formola del Péclet ricordata a pag. 41, il valore del coefficiente di convessione di una superficie cilindrica verticale dipende anche dalla sua altezza; ma una tale circostanza si trascurò nel caso nostro in considerazione delle limitate dimensioni dei caloriferi elettrici.

Si è pure proposta da Teichmüller la formola seguente per la determinazione del diametro del filo:

$$t - t' = \left(\frac{\rho \, d^2 \, \delta^2}{12,74 + 0,344 \, d} \right)^{\frac{1}{1,233}},$$

nella quale sono espressi le temperature t e t^1 in gradi centigradi, la resistività ρ in microohmcentimetri, la densità δ della corrente in ampère per mm.^{2} e il diametro d in millimetri.

Ma per le ragioni già dette, questa formola non tenendo conto della direzione del filo non merita fiducia.

Noteremo che ponendo nella formola (5) (pag. 47) degli adatti valori di α si potranno conoscere i valori della corrente I capaci di fondere i fili di determinato diametro supposti di conveniente lunghezza e immersi nell'aria calma. Analogamente colla stessa formola, dati i valori di I, si potranno conoscere quali diametri dovranno avere i fili perchè fondano al passaggio della corrente.

Ecco alcuni valori di α che secondo esperienze dirette da noi fatte sono sufficientemente approssimati se i fili sono disposti verticalmente ma che porgono dei valori di I alquanto in eccesso se i fili sono disposti orizzontalmente:

Alluminio	59
Argento	60
Ferro	24,6
Maillechort	41
Rame	80

Si consideri un filo di rame del diametro di mm. 0,8: la corrente capace di fonderlo risulterà di $80 \times 0{,}8^{\frac{3}{2}} = 57{,}2$ ampère. Se il suo diametro fosse invece di mm. 1,2, il filo fonderebbe al passaggio della corrente di $80 \times 1{,}2^{\frac{3}{2}} = 105{,}2$ ampère.

Quale diametro dovrà avere il filo di rame perchè esso fonda quando vi circolano 50,5 ampère? Esso dovrà avere il diametro di $\left(\frac{50{,}5}{80}\right)^{\frac{3}{2}} = 0{,}74$ millimetri.

Considerando gli analoghi casi pel filo di ferro si otterrebbe che esso quando ha il diametro di mm. 0,8 e di mm. 1,2 fonderebbe rispettivamente in corrispondenza alle correnti di 17,6 e di 32,3 ampère; e che dovrebbe avere il diametro di mm. 1,6 per fondere al passaggio di 50,5 ampère.

Determinazione del diametro e della lunghezza della resistenza elementare filiforme.

Ciò posto, per progettare la resistenza elementare filiforme si procederà per tentativi. E cioè si comincierà ad assumere pel dia-

metro della sua sezione un valore che appaia adatto (per il che potrà giovare la norma esposta a pag. 53); in base a tale valore si calcolerà il coefficiente di convessione a mercè la formola (4), nella quale t ed I avranno rispettivamente il valore massimo assunto dalla temperatura ed il valore massimo della corrente circolante nell'elemento filiforme, vale a dire quello che dovrà riscontrarvisi allorquando gli elementi saranno disposti in derivazione ($t = 90°$ C. ed $I = \frac{500}{28,420}$ ampère in uno degli esempi considerati). Poscia ricorrendo alle formole o alle tabelle esperimentali di cui si fece menzione, od in difetto di queste ad esperienze dirette, si verificherà se pel filo del diametro assunto d, e in correlazione alle condizioni note dell'aria da riscaldare, vi sieno forme e disposizioni adatte per le quali il valore del coefficiente di convessione risulti pari approssimativamente a quello che si ottenne colla formola (4). Nel caso affermativo si assegnerà alla resistenza elementare una di tali forme e disposizioni; nel caso negativo si modificherà il valore di d entro quei limiti che le esigenze pratiche ammetteranno sino a che esso, introdotto nella formola (4), dia per a il valore più approssimato a quello che le anzidette formole o tabelle o esperienze dirette porgono in corrispondenza al valore modificato di d. Se l'approssimazione si stimerà sufficiente, si adotterà per la resistenza il valore così trovato di a. In caso diverso bisognerà rassegnarsi a modificare la temperatura t e ricorrere a nuovi tentativi.

Disponendo delle tabelle che porgono il valore di α e conoscendo I e $t - t'$, si verificherà se corrispondentemente a I e a un valore eguale o prossimo a $t - t'$ siavi un valore di α che soddisfi alla relazione

$$I = \alpha\, d^{\frac{3}{2}},$$

nel qual caso lo si adotterà.

Ottenuto che si sarà nel modo esposto il diametro del filo destinato a costituire la resistenza elementare, conoscendosi pure il valore ohmico r e la resistività ρ_t alla temperatura intermedia di tale filo, se ne determinerà lo sviluppo l ricorrendo alla formola

$$r = \frac{4\, l\, \rho_t}{100\, \pi\, d^2},$$

da cui si deduce

$$l = 100\, \frac{r\, \pi\, d^2}{4\, \rho_t},$$

ove l è espresso in metri, d in mm., r in ohm e ρ_l in microohm-centimetri; e così, sapendosi inoltre già quale debba essere la forma e la disposziione nello spazio del filo stesso, si avrà quanto occorre per progettare il calorifero elettrico.

Considerazioni sull'espressione del coefficiente di convessione.

La formola (4) merita ancora una breve considerazione. Si è detto che in essa I e t possono rappresentare rispettivamente la massima intensità di corrente e la massima temperatura relative all'elemento filiforme, e cioè quelle corrispondenti alla disposizione in derivazione. Ma siccome I e t varieranno allorchè si disporranno le resistenze elementari in serie o per gruppi, può sorgere il dubbio che il valore di a determinato supponendo I e t massimi, non sia più conveniente per tutti gli altri valori che I e t possono assumere. Orbene, per derimere un tale dubbio, si osservi che dalle due espressioni di q, da cui si desunse la formola (4), risulta che per uno stesso conduttore (e cioè pei medesimi valori di d, l e ρ) il valore di $t - t'$ oppure di $(t - t^1)^{1,2\,3}$, secondochè sussiste o no l'ipotesi newtoniana sulla trasmissione del calore, cambia proporzionalmente a I^2, e cioè alla quantità di calore generata nel conduttore stesso. Essendo costante il rapporto tra I^2 e $t - t'$, ovvero fra I^2 e $(t - t')^{1,233}$, giusta la formola (4) sarà indipendente da I, e cioè dal calore svolto, il valore che compete ad a, almeno entro i limiti fra cui è trascurabile l'influsso della temperatura sulla resistività. Ne consegue adunque che se il conduttore è tale che il suo coefficiente di convessione soddisfa ai valori massimi di I e di t, quando I varierà a cagione dei differenti raggruppamenti delle resistenze elementari, t vi assumerà appunto quei valori che occorrono per determinarvi quelle produzioni termiche che vennero previste per tali raggruppamenti.

Temperatura dei conduttori riscaldanti.

Le spirali destinate a fornire il calore assumeranno in alcuni casi la temperatura massima stabilita ed in altri casi delle temperature più o meno inferiori che si possono desumere dalle formole a pag. 40.

Esempi numerici.

Nell'esempio considerato a pag. 28, ritenendo $r = 28{,}42$ ohm e $t^1 = 15°$ C., e ritenendo che i diversi elementi della resistenza si trovino nelle stesse condizioni rispetto all'aria che li circonda, si avranno i seguenti valori approssimati di t;

Per la disposiz. in derivazione
e per le disposizioni *a*), *c*) ed *e*) $t = 90^{o}$ C.
per la disposizione *b*) . . . » $39^{o},5$ »
» *d*) . . » $27^{o},5$ »
» *f*) . . » $27^{o},5$ » per le resistenze elementari in derivazione.
» $54^{o},5$ » per la resistenza elementare in serie.
» *g*) . . . » $20^{o},5$ » per le resistenze elementari in derivazione.
» 33^{o} » per le resistenze elementari in serie.
» *h*) . . » 23^{o} » per le resistenze elementari in derivazione.
» $62^{o},5$ » per la resistenza elementare in serie.
» *i*) . . » $27^{o},5$ » per le resistenze elementari in serie.
» 90^{o} » per la resistenza elementare in derivazione.
» *l*) . . « $39^{o},5$ » per le resistenze elementari in serie.
» 90^{o} » per la resistenza elementare in derivazione.
» *m*) . . « $39^{o},5$ » per le resistenze elementari in serie.
» 90^{o} » per le resistenze elementari in derivazione.
» *n*) . . » $39^{o},5$ »
» in serie » 23^{o} »

Questi valori della temperatura persisteranno nel caso della disposizione in quantità e nei casi *a*), *b*), *c*), *d*), *e*), *n*), mentre

nei casi *f*), *g*), *h*), *i*), *l*), *m*) non potranno mantenersi a lungo inalterati perchè gli elementi della resistenza aventi differente temperatura essendo tra di esse in comunicazione, il calore tenderà a equilibrarvisi.

Determinazione approssimata delle dimensioni della resistenza filiforme.

Aggiungasi infine che con assai grossolana approssimazione si suole ritenere che un filo cilindrico rettilineo in una determinata posizione e in uno stesso ambiente atmosferico, vi versi per convessione durante il medesimo tempo la stessa quantità di calore per la stessa lunghezza e temperatura, *qualunque sia il suo diametro*. In altri termini, si suole ritenere che il coefficiente di convessione varii in ragione inversa del diametro. Tale quantità di calore, se il filo è disposto verticalmente o quasi sarebbe mediamente di 0,15 calorie all'ora per ogni metro di lunghezza del filo e pel primo grado C. di differenza di temperatura tra il filo e l'aria ambiente. Inoltre si può ammettere che un filo ceda per irradiazione all'ora per ogni mq. della sua superficie e pel primo grado C. di differenza di temperatura calorie 5,35 se è lucente, calorie 6,8 se non è stato lucidato e calorie 9 se è nero.

In base a questi dati si potrà facilmente ottenere un primo valore approssimato del diametro d e della lunghezza l del filo.

Supponendo che questo sia lucente, e, ciò che è abbastanza approssimato, come risulta da ciò che si disse a pag. 39, che la quantità di calore irradiata vari proporzionalmente al salto della temperatura elevato a 1,233, si potranno stabilire le seguenti equazioni:

$$\frac{Q}{(t - t^1)\,1{,}233} = \frac{0{,}15\,l}{100} + \frac{5{,}35\,\pi\,d\,l}{10^4},$$

$$r = 0{,}863\,\frac{E^2}{Q} = \frac{4\,\rho\,l}{\pi\,d^2\,10^6},$$

essendo espressi Q in calorie all'ora, l e d in centimetri, r in ohm e ρ in microohmcentimetri.

Ricavando il valore di l da una di queste equazioni e ponendolo nell'altra, si otterrà

$$d^3 + \frac{15}{5{,}35\,\pi}\,d^2 - \frac{4\,\rho\,Q^2}{535 \times 0{,}863\,(t - t^1)^{1{,}233}\,E^2\,\pi^2} = 0.$$

Se il filo é poco lucente od è nero, ai valori numerici 5,35 e 535 in questa equazione si sostituiranno rispettivamente nel primo caso 6,8 e 680 e nel secondo caso 9 e 900.

Conoscendosi Q, E e ρ ed assumendo il salto di temperatura $t - t^1$, si determinerà d mediante questa equazione; poscia introducendo il valore di d nella equazione precedente si dedurrà il valore di l.

Suppongasi che il filo sia di reotana annerita (ρ = 54 microohmcentimetri a 90° C.), Q = 1000 calorie, E = 110 volta, $t - t'$ = 75° C.; risulterà

$$d = \text{mm. } 1{,}34$$
$$l = \text{metri } 27{,}17.$$

La intensità della corrente circolante in detto filo sarebbe di 10,55 ampère.

Lo stesso diametro del filo si otterrebbe se tanto la tensione quanto la quantità oraria di calore variassero nella stessa misura: cambierebbe naturalmente la lunghezza del filo.

E così pure non varierebbe il diametro del filo al variare della resistività e della tensione alla condizione che tutti gli altri elementi nonchè il rapporto $\frac{\rho}{E^2}$ si mantengano costanti: in questo caso anche la lunghezza del filo non varierà per ovvia ragione.

Confrontando questo valore di d = 1,34 millimetri coi dati relativi ai quantitativi di calore emesso che figurano nella prima tabelletta a pag. 45, subito si scorge che al detto diametro corrispondendo un quantitativo di calore che, pure ridotto di quello dovuto all'irradiazione, è superiore alle presupposte 150 piccole calorie, il salto di temperatura non potrà essere che inferiore a quello assunto di 75° C. Perciò bisognerà ridurre adeguatamente il valore di mm. 1,34 del diametro se vuolsi ottenere effettivamente questo salto di temperatura.

Si potrà pure per avere un primo valore approssimato del diametro del filo ammettere con Teichmüller che il coefficiente di convessione espresso in watt e riferito al cent.^{2} della superficie del filo sia eguale a

$$0{,}86 \times 10^{-4} + \frac{31{,}85}{d} 10^{-5},$$

essendo d il diametro del filo in cent.

Esprimendo $\frac{Q}{(t - t^1)^{1,233}}$ in funzione di questa formola, risulterà l'equazione

$$\frac{Q}{(t - t^1)^{1,233}} = 0{,}863 \, \pi \, d \, l \left(0{,}86 \times 10^{-4} + \frac{31{,}85}{d} 10^{-5}\right)$$

ove la lunghezza l del filo è espressa in centimetri.

Questa equazione unitamente alla seguente, che esprime il valore della resistenza del filo

$$r = 0{,}863 \frac{E^2}{Q} = \frac{4 \rho \, l}{d^2} 10^{-6},$$

permette di dedurre i valori di d e di l.

Ponendo nell'una di queste equazioni il valore di l ricavato dall'altra, si otterrà la relazione:

$$d^3 + \frac{31,85}{8,6} d^2 - \frac{4\,Q^2\,\rho}{86\,(t-t')^{1,233}\,(0,863)^2\,\pi^2\,E^2} = 0.$$

Supponendo $Q = 1000$ calorie,
$E = 110$ volta,
$t - t' = 75°$ C.
$\rho = 54$ microohmcentimetri,

si dedurrà $d = 1,9$ mm.
$l =$ m. 54,80.

A più forte ragione in questo caso il salto di temperatura, se si assegnassero al filo le dimensioni ottenute, risulterebbe praticamente inferiore a quello presupposto di 75° C.

La superficie del filo in questo caso risulta superiore a quella che si ottenne a pag. 54 non solo per la differente approssimazione dei due procedimenti seguiti, ma anche perchè è stato ora ammesso che non vi sia emissione di calore per irradiazione, calore che nel caso precedente è di circa 212 calorie all'ora.

Ritenendo invece $\rho = 100,6$ microohmcentimetri (resistenza costituita da rame-manganese; v. pag. 33),

$Q = 500$ calorie,

e inoltre, come precedentemente,

$E = 110$ volta;

si avrà $t - t' = 75°$ C.,
$d =$ mm. 1.3,
$l =$ m. 27,54.

In questo caso la corrente riscaldante avrebbe l'intensità di 5,26 ampère.

Resistenze in forma di nastro.

Devesi ora considerare il caso in cui le resistenze ohmiche delle stufe elettriche siano in forma di nastro.

Il procedimento da seguirsi per la calcolazione è in questo caso identico a quello esposto pei fili; e serviranno le stesse formole, nelle quali si ponga sh in luogo di $\frac{1}{4}\pi d^2$ e $2(s+h)$ in luogo di $\pi\,d$, essendo s lo spessore ed h l'altezza della sezione trasversale del nastro.

La formola (4) (pag. 40) pei nastri, chiamando a' il relativo coefficiente di convessione, si trasformerà nella seguente:

$$a' = c'' \frac{I^2}{(s+h)\,h\,s\,(t-t')} \quad \text{essendo} \quad c'' = \frac{0,863\,\rho}{2\,x}.$$

a' varierà collo spessore e coll'altezza del nastro e a seconda della forma del suo asse (se rettilineo, circolare, elicoidale, ecc.) e del modo con cui è disposto nell'aria.

La superficie del nastro corrispondente al suo spessore s essendo sempre assai tenue, si potrà trascurare il calore da essa emesso. E così ricorrendo a tabelle che diano a' in relazione ad h, si potranno trovare i valori di h e a', che soddisferanno approssimativamente alla equazione testè scritta.

Affinchè a' sia grande, il nastro si dovrà collocare in guisa che le sue due facce maggiori sieno verticali, se è in un ambiente atmosferico tranquillo; se è in una corrente aerea, esse dovranno essere parallele alla direzione di tale corrente.

Una disposizione per la quale il nastro cede facilmente calore é quella, rappresentata dalla fig. 21, secondo cui esso è avvolto a spirale attorno ad un asse verticale, dato che sia situato nell'aria tranquilla ovvero in una corrente d'aria ascendente o discendente in direzione verticale. Il calore fornito per unità di superficie sarà tanto maggiore quanto più piccola sarà la larghezza del nastro.

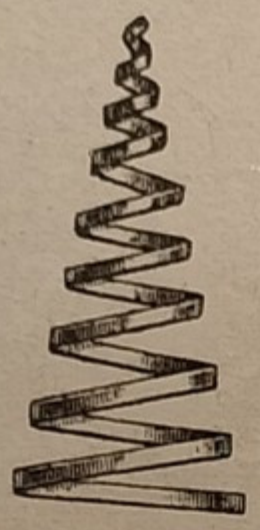


Fig. 21.

Nastro termico a spirale.

Se il nastro fosse disposto orizzontalmente, in guisa che siano orizzontali le sue due facce maggiori, in un ambiente atmosferico tranquillo, si potrebbe ritenere eguale a 4 il coefficiente di convessione (all'ora per mq.) relativo alla sua faccia superiore, mentre sarebbe insignificante quello corrispondente alla sua faccia inferiore. Il coefficiente di convessione risulterebbe così mediamente per le due facce eguale a 2. Disposto verticalmente col suo asse rettilineo, il nostro potrà avere un coefficiente di convessione uguale a 3,5 se al sua larghezza sarà piccola. Tale coefficiente sarà ancora sensibilmente superiore se il nastro, oltre ad avere verticali i lati maggiori della sua sezione trasversale, assumerà la forma di un'elica cilindrica o quella di una molla a bovolo (vedi figura 21).

Qui sorge la questione se sia preferibile la forma di un nastro o quella di un filo nei riguardi della trasmissione del calore all'aria.

Suppongasi che il filo abbia 2 millimetri di diametro, e cioè 6,28 millimetri di periferia. Suppongasi che il nastro abbia lo spessore di mezzo millimetro; a parità di sezione col filo, la sua periferia utile sarà di 12,56 millimetri.

Il coefficiente di convessione del filo di 2 millimetri è eguale a 12 nell'ipotesi che questo sia verticale; quello del nastro alto millimetri 6,28 nella stessa condizione è eguale a 3,5; la conduttività esterna del calore relativa ai due conduttori sarà adunque nel rapporto:

$$\frac{6,28 \times 12}{12,56 \times 3,5} = 1,7.$$

Aggiungasi che se gli assi dei due conduttori sono della stes-

sa forma, sono per esempio a bovolo, e hanno le stesse dimensioni, mentre salirà a 4 il coefficiente di convessione del nastro, ritenuto che siano sensibilmente verticali i lati maggiori delle sue sezioni trasversali e che il suo raggio di curvatura non sia molto grande, si ridurrà approssimativamente a 4 quello del filo, che si troverà presso a poco nelle condizioni di un filo orizzontale (v. pag. 44). In questo caso il rapporto delle conduttività esterne del calore sarà eguale a

$$\frac{6,28 \times 4}{12,56 \times 4} = \frac{1}{2}.$$

Si scorge adunque da questi esempi come, a pari area della sezione trasversale, stato della superficie e asse geometrico, si possa, a seconda della larghezza del nastro e a seconda delle caratteristiche dell'asse, ottenere una maggiore conduttività termica esterna riferita all'unità di superficie, ora col nastro ed ora col filo.

Ma il parallelo tra il nastro ed il filo ci dice di più che se a parità di natura del materiale, di area della sezione trasversale e di salto utile di temperatura, il prodotto del coefficiente di convessione per la periferia della sezione non è lo stesso pel nastro e pel filo, sarà diversa la quantità di materiale occorrente nei due casi per conseguire uno stesso effetto termico. Nel primo dei due esempi comparativi considerati occorrerà dare al nastro una maggiore lunghezza perchè la sua resistenza ohmica e la corrispondente somministrazione di calore all'aria siano pari a quelle del filo; da queste due circostanze ne risulta un notevole maggior peso di metallo pel nastro che non pel filo. L'opposto accadrà invece nel secondo dei due dati esempi.

Resistenze in forma di piastre.

Si costruiscono pure delle stufe (fig. 23 e 24) con resistenze costituite da pacchetti di piastre piane generalmente di ghisa o di acciaio galvanizzate. Queste piastre sono di forma rettangolare piene o traforate, od anche in forma di biscie.

Esse, come i fili e come i nastri, si dispongono in parallelo in serie o per gruppi onde ottenerne differenti effetti termici.

Per progettare queste stufe si determinerà in base ai procedimenti già esposti il valore ohmico della resistenza che dovrà fornire il calore e il numero delle piastre destinate a comporla; si ricorrerà poscia alle formole di Dulong e Petit e di Péclet, di cui trattasi al paragrafo a pag. 108, per determinare la superficie di queste piastre, nota la quale, di esse si conoscerà pure lo spessore.

E' superfluo di aggiungere che l'efficienza di queste stufe è di gran lunga inferiore a quella delle stufe con resistenze filiformi od a nastri

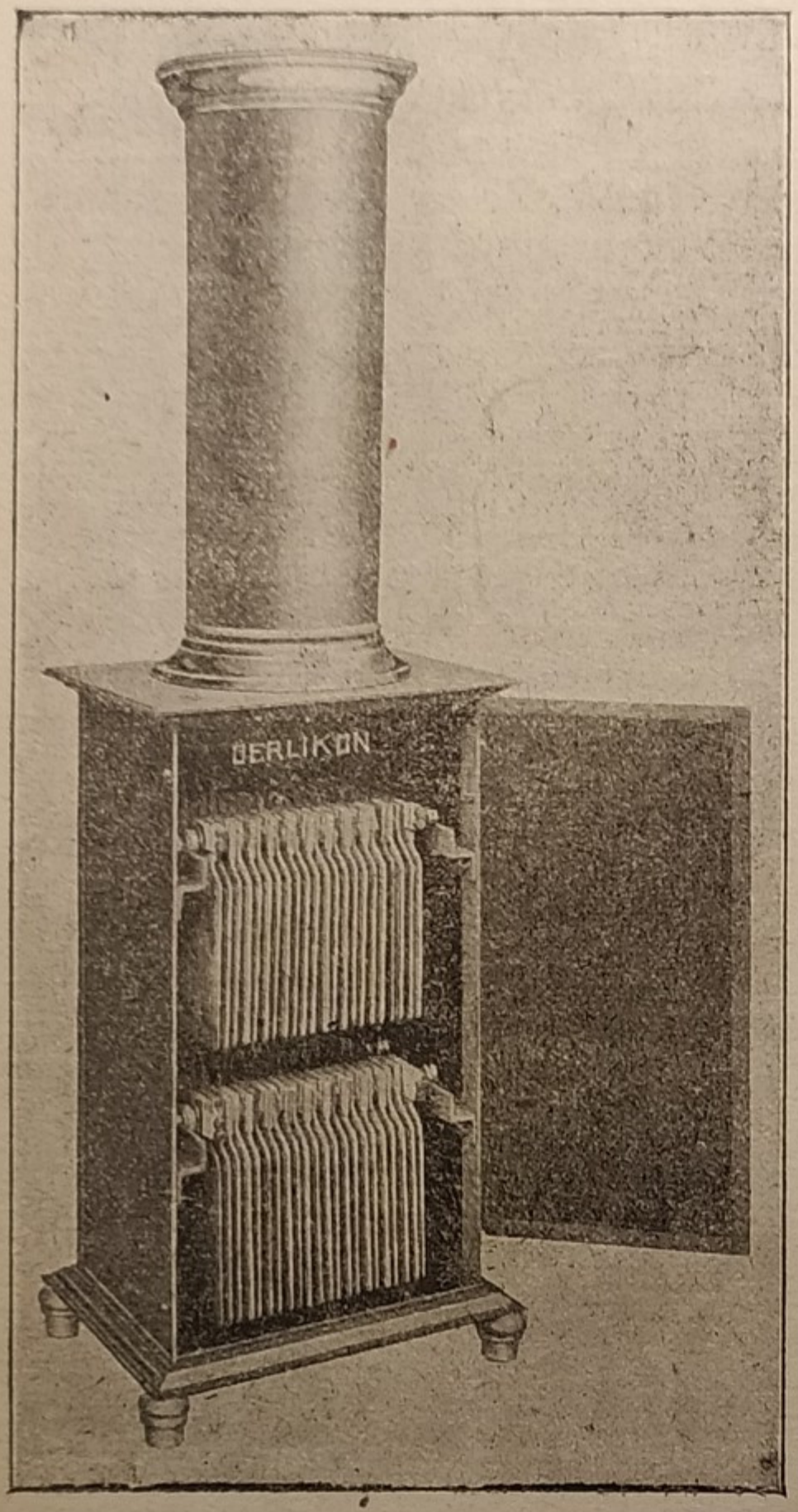


Fig. 22.
Stufa aperta perchè vi si vegga il reostato.

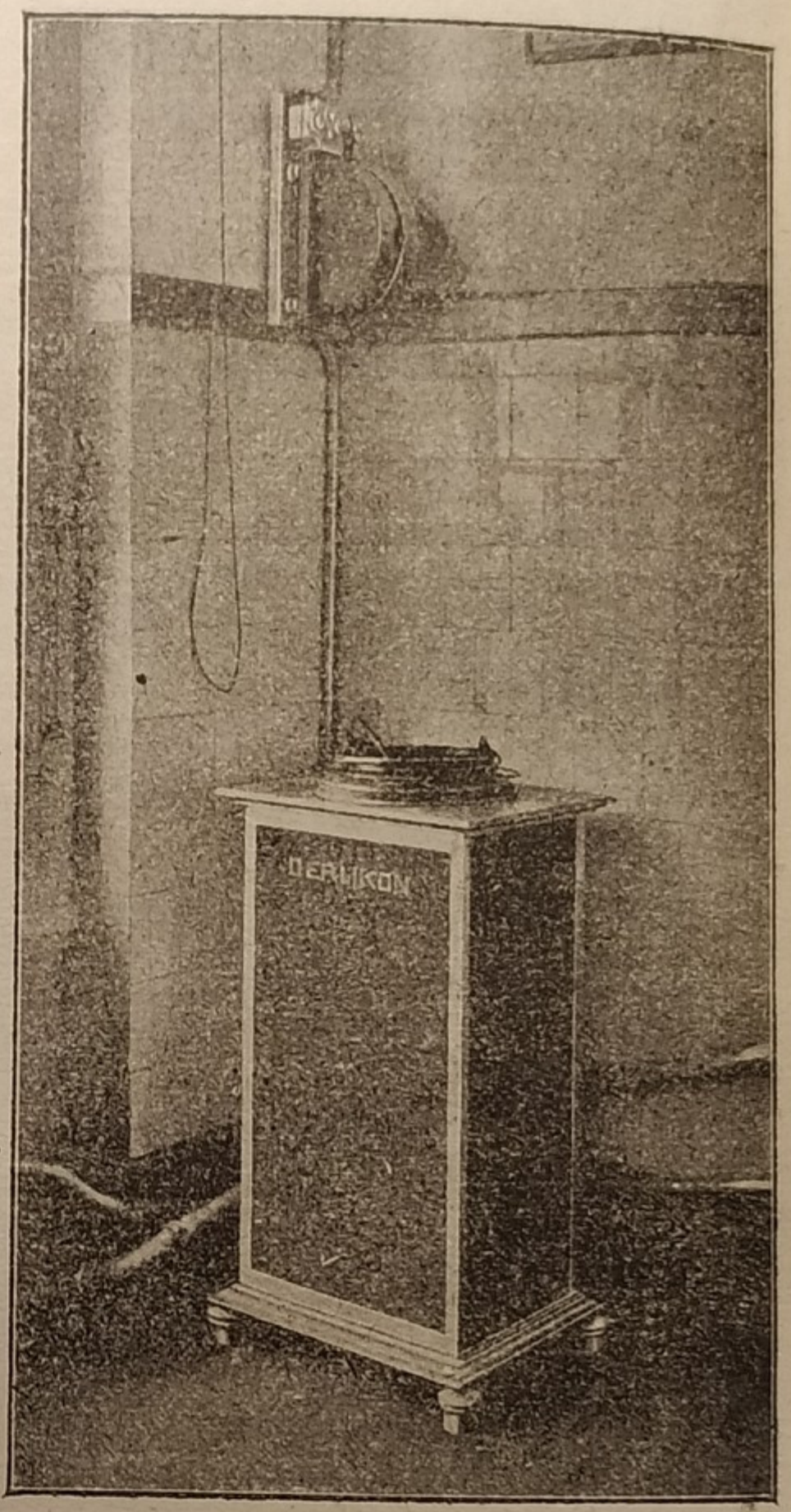


Fig. 23.
Modello che serve anche pel riscaldamento dei liquidi e delle vivande.

Fig. 22 e 23. - Stufe elettriche con resistenze costituite da piastre di ghisa o di acciaio galvanizzate.

Esempi di caloriferi con resistenze filiformi nude.

Si costruiscono degli apparecchi di riscaldamento costituiti da fili nudi per appartamenti e specie per vetture tramviarie e ferroviarie; in alcuni di essi, mercè una speciale disposizione, i fili sono mantenuti tesi malgrado le dilatazioni che subiscono per effetto del calore. La massima potenza di questi apparecchi è di 1,5 chilowatt.

Le figure 24 e 25 rappresentano uno dei tipi di stufa per vetture tramviarie destinata a funzionare sotto la differenza di po-

tenziale di 500 volta. Esso consta essenzialmente di due spirali di filo di ferro galvanizzato ovvero di una lega metallica di alta resistività avvolte sopra nuclei di porcellana, i quali presentano

Fig. 24. — Vista esterna di una stufa per ferrovie e tramvie.

all'uopo delle scanalature elicoidali. Tali nuclei sono sostenuti da un'anima di ferro appoggiata ai suoi capi a due sopporti infissi nel pavimento. La coppia di rocchetti è resa inaccessibile

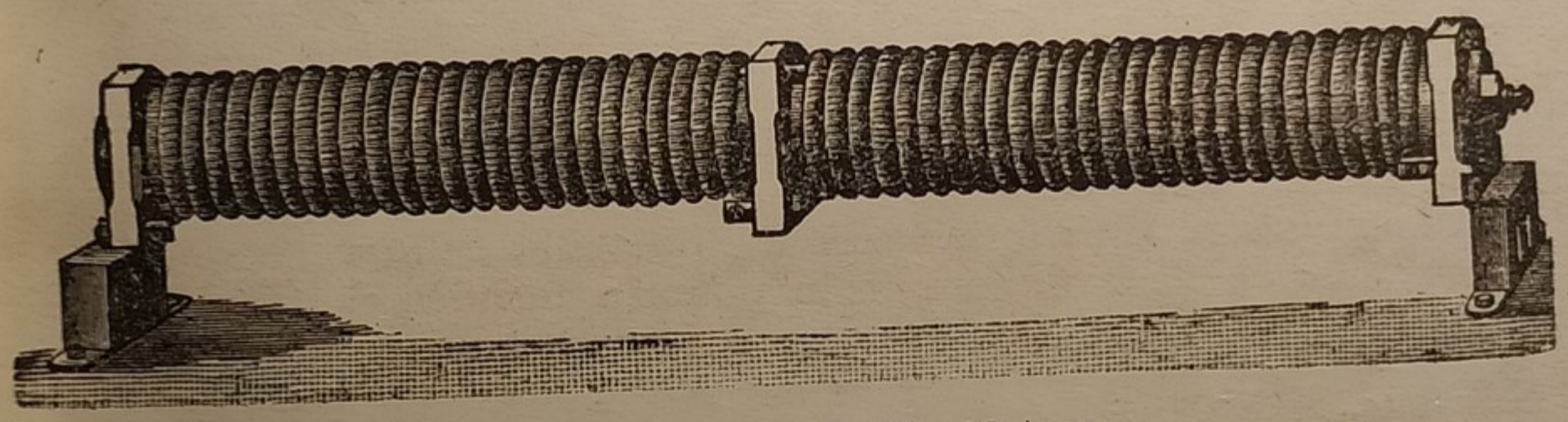


Fig. 25. — Rocchetto riscaldatore.

da una custodia, la quale é di legno, è rivestita internamente con del cartone di asfalto e presenta delle apertura, munite di grate, che permettono la circolazione dell'aria. Ogni stufa contiene circa 22 m. di filo metallico e pesa complessivamente circa

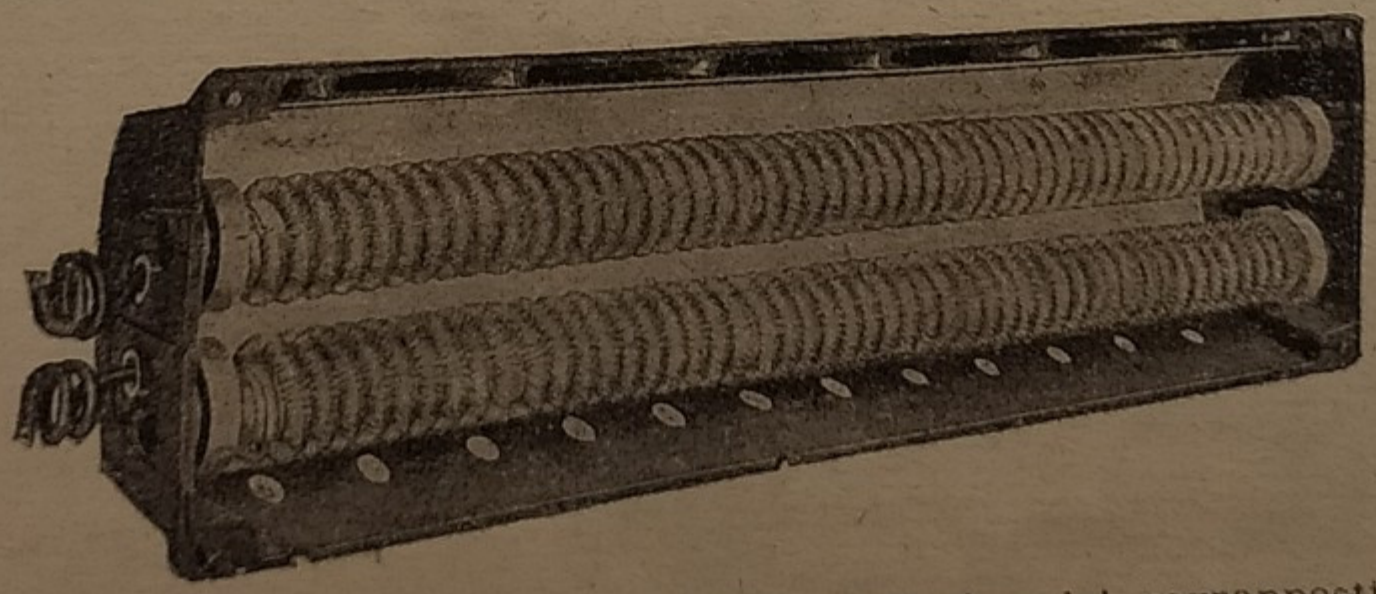


Fig. 26. — Stufa con due rocchetti elettrotermici sovrapposti

11 chg. Le stufe sono generalmente in numero di 6 per ogni vettura e sono disposte sotto ai sedili.

Un altro tipo, a rocchetti sovrapposti, vedesi nella fig. 26.

La regolazione della temperatura si ottiene mercè il commutatore rappresentato dalle fig. 27 a 29. Questo può assumere

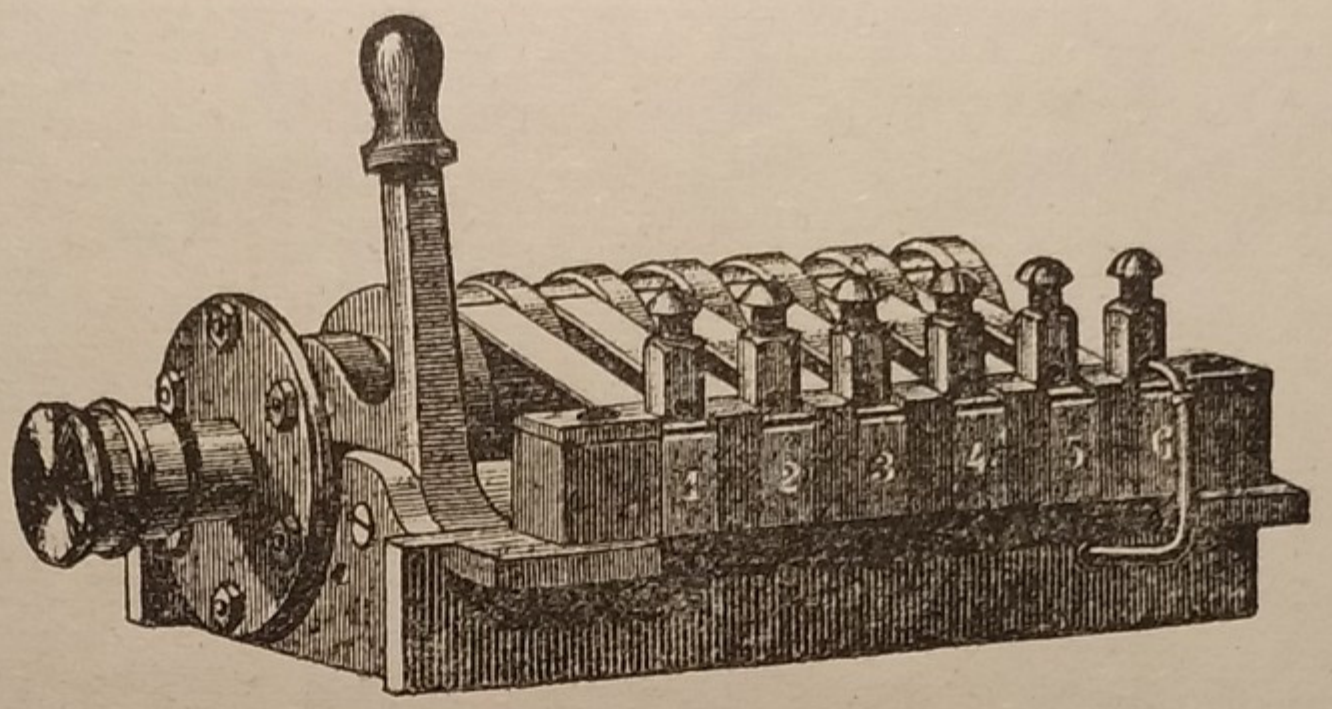


Fig. 27. — Vista di fianco del regolatore.

sei differenti posizioni: in una di esse le spirali dei rocchetti sono escluse dal circuito; in un'altra tutte le spirali sono disposte in serie, ed in questo caso l'intensità della corrente, che è continua, è di 2 ampère (e la potenza termica è perciò di 1 chilowatt); nelle altre, infine, le spirali si dispongono in differenti gruppi per modo da ottenere

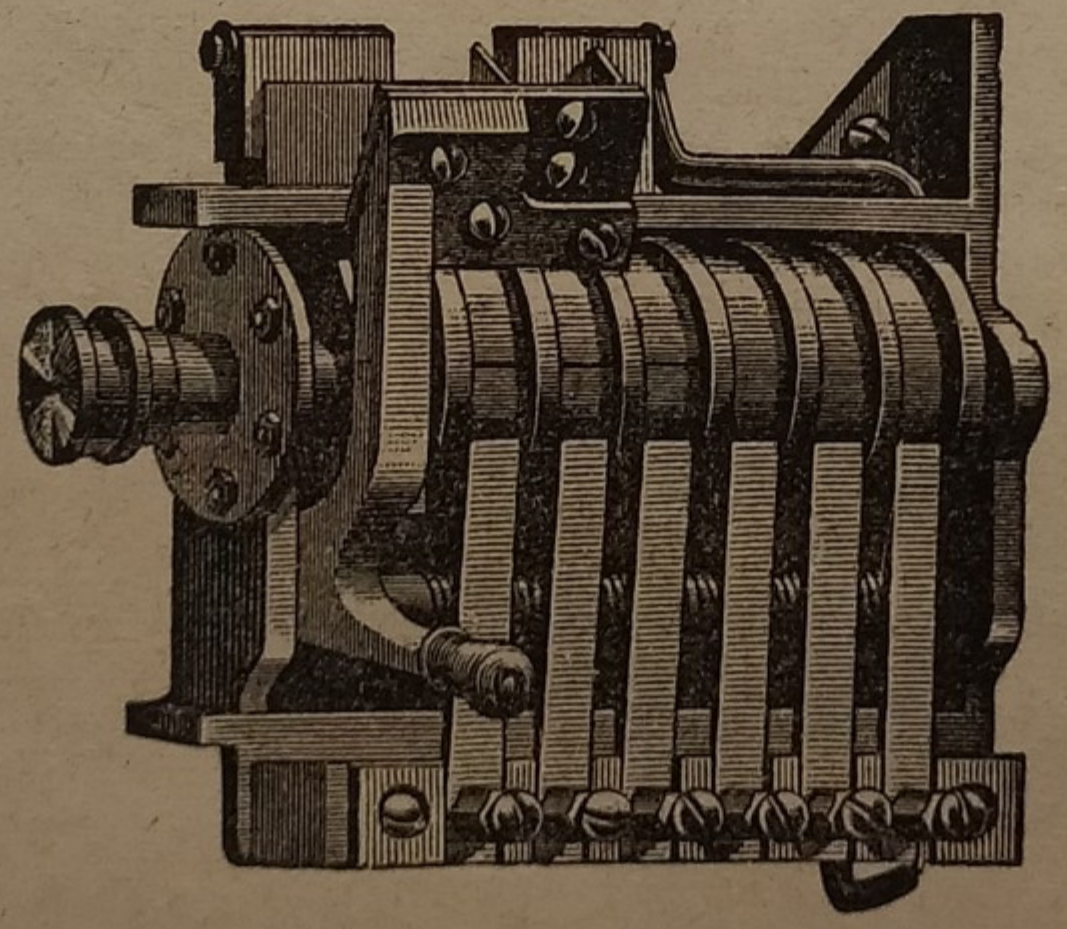


Fig. 28 — Vista di fronte del regolatore.

l'intensità di 18 ampère (a cui corrisponde la potenza di 9 chilowatt), di 3 ampère (1,5 chilowatt), di 8 ampère (4 chilowatt) e di 12 ampère (6 chilowatt).

La fig. 30 indica la disposizione delle spirali nei differenti casi. Come vi si scorge chiaramente, nella posizione 1 del commutatore le sei stufe sono tutte escluse dal circuito; nella posizione 3 due di esse sono escluse dal circuito e le altre quattro sono collegate in serie; nella posizione 4 due grup-

pi ciascuno di tre stufe in serie sono disposti in derivazione; nella posizione 5 due stufe sono escluse dal circuito, e due gruppi ciascuno di due stufe in serie sono congiunti in derivazione; infine, nella posizione 6, tre gruppi ciascuno di due stufe in serie sono disposti in quantità.

Un tale commutatore è racchiuso in una scatola da centimetri 28 per 23 e per 17 che è applicata ad una parete interna della vettura. Il suo peso, compresa la custodia, è poco più di 4 Kg.

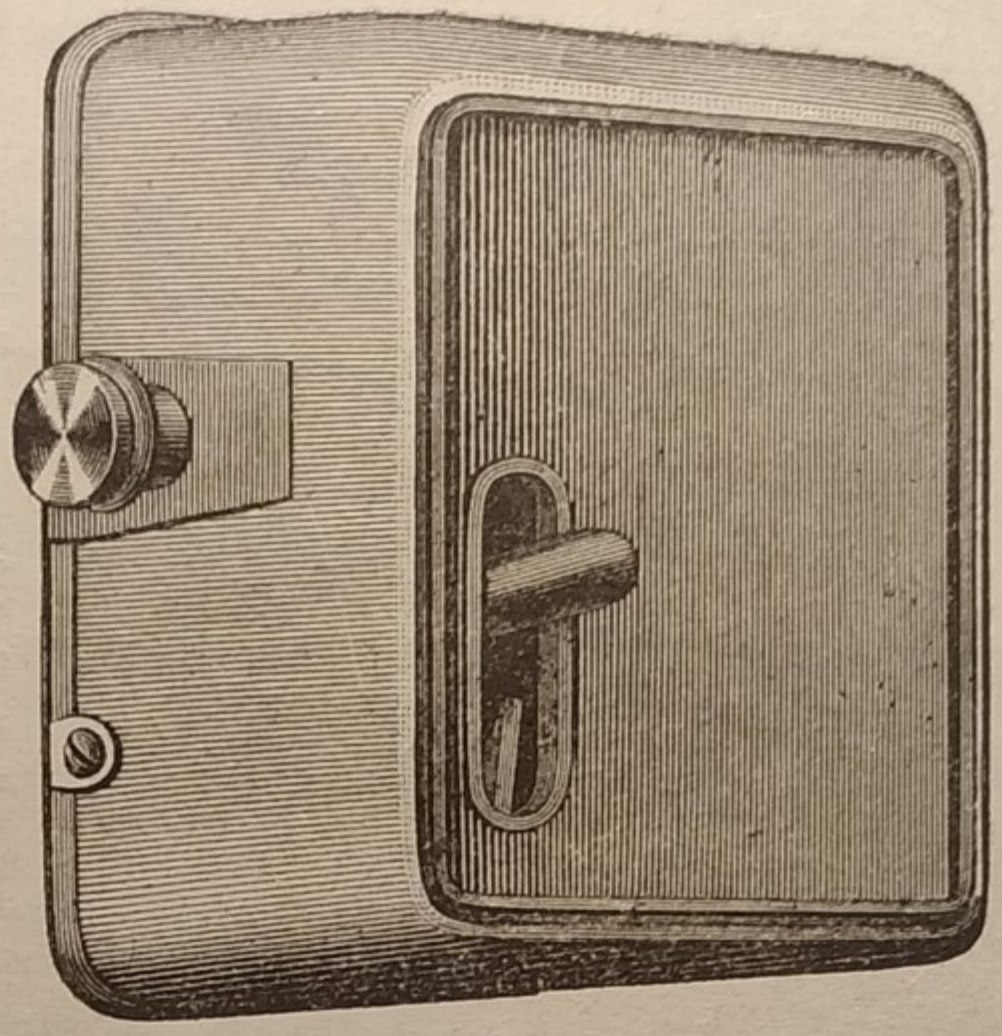


Fig. 29. — Custodia del regolatore.

Allo scopo di ridurre allo stretto indispensabile le superfici delle spirali che, per essere in contatto coi sopporti, non possono

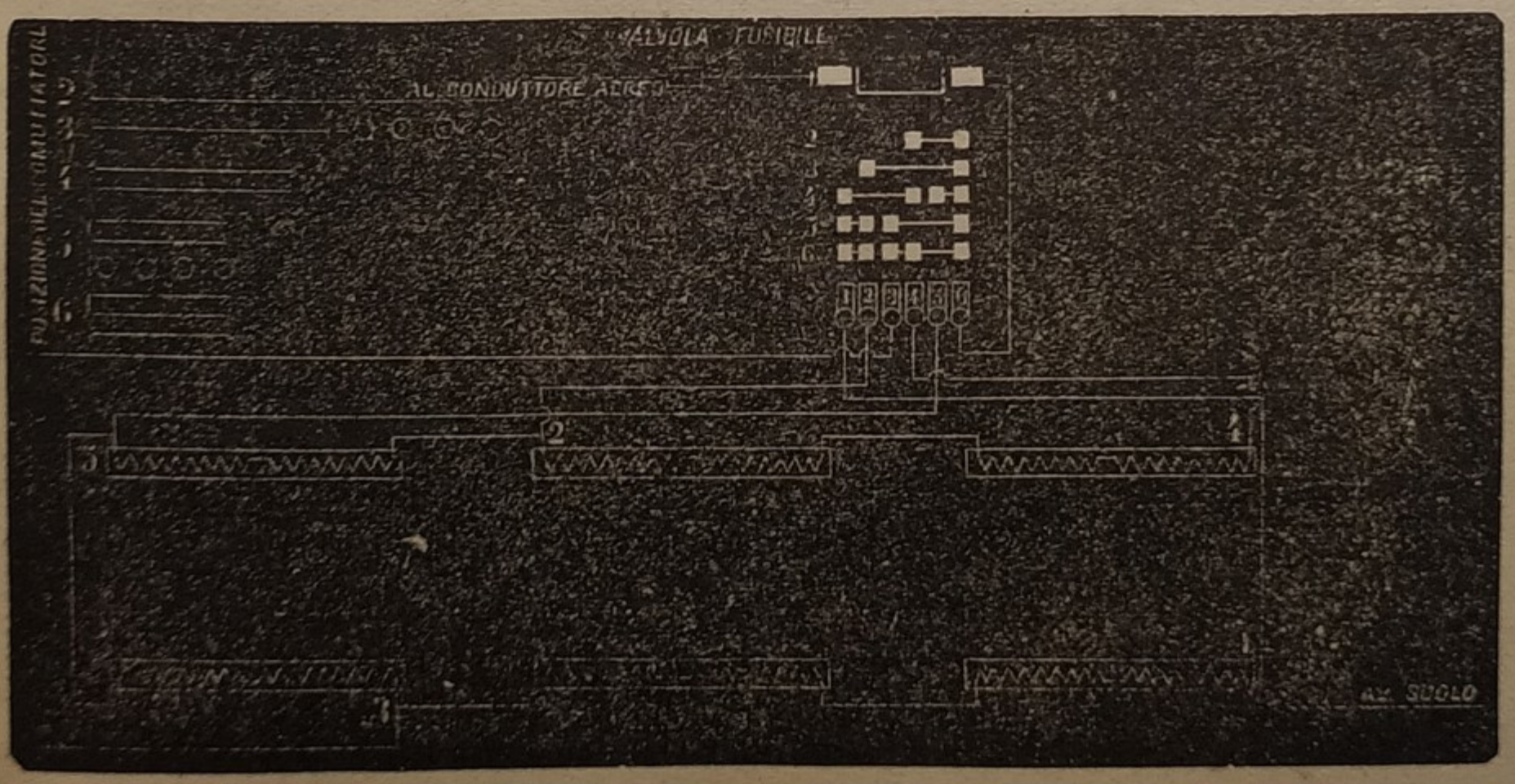


Fig. 30. — Schema delle differenti disposizioni dei rocchetti determinate dal commutatore.

trasmettere calore all'aria, ed ottenere così un maggiore effetto convettivo, si adottò anche la disposizione rappresentata dalla fig. 31.

Come vedesi, ciascuna spirale è appoggiata sopra un sostegno ondulato; questo consta di un'anima di acciaio di 6 millimetri di diametro e di uno smalto isolante applicato su di essa alla temperatura di 200° C. circa. Le spire consecutive della spirale elicoidale sono convenientemente distanziate. Inoltre il diametro della spirale è tale che disponendola sul detto sopporto non subisce sensibile deformazione. Questo è incastrato alle sue estremità entro mensole di porcellana,

Fig. 31. — Collocamento delle spirali per accrescerne l'effetto convettivo

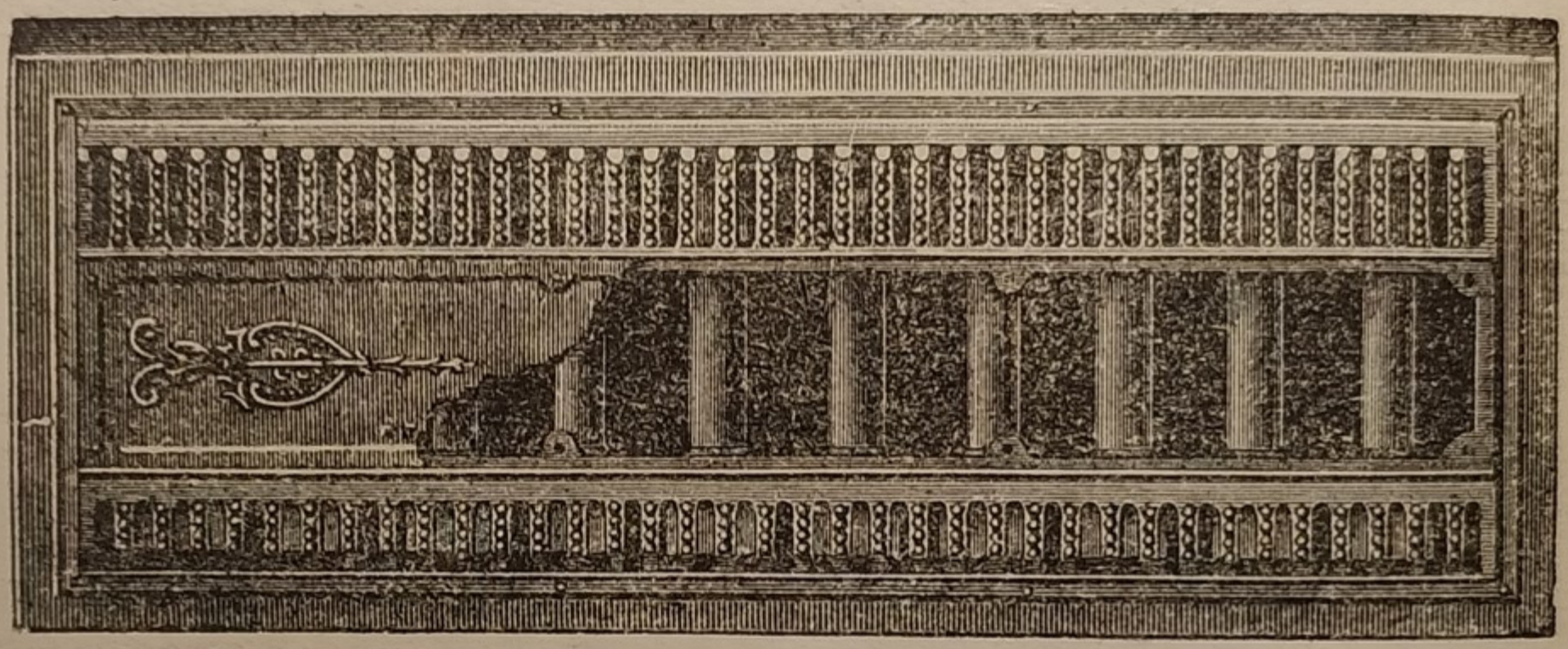


Fig. 32. — Calorifero tubulare

a cui sono pure collegate le estremità della spirale, e su cui sono applicati i contatti metallici occorrenti per effettuare il collegamento della spirale sia colla linea e sia con altre spirali. Le spirali non sono soggette ad alcuna tensione meccanica.

Un altro riscaldatore a rocchetto si vede nella fig. 32. In esso

Fig. 33. — Stufa in forma di cornice specialmente adatta per veicoli ferroviari e tramviari.

sonvi 10 spirali metalliche, identiche e disposte verticalmente, ciascuna entro un tubo metallico che è inserito nel circuito. Esse possono venire collegate tutte in serie, ovvero in modo da costituire due gruppi in quantità di 5 elementi in serie. L'aria fredda è ammessa dagli orifizi inferiori dei tubi racchiudenti le spirali; essa si riscalda in contatto delle spirali e dei tubi e si estrica dagli

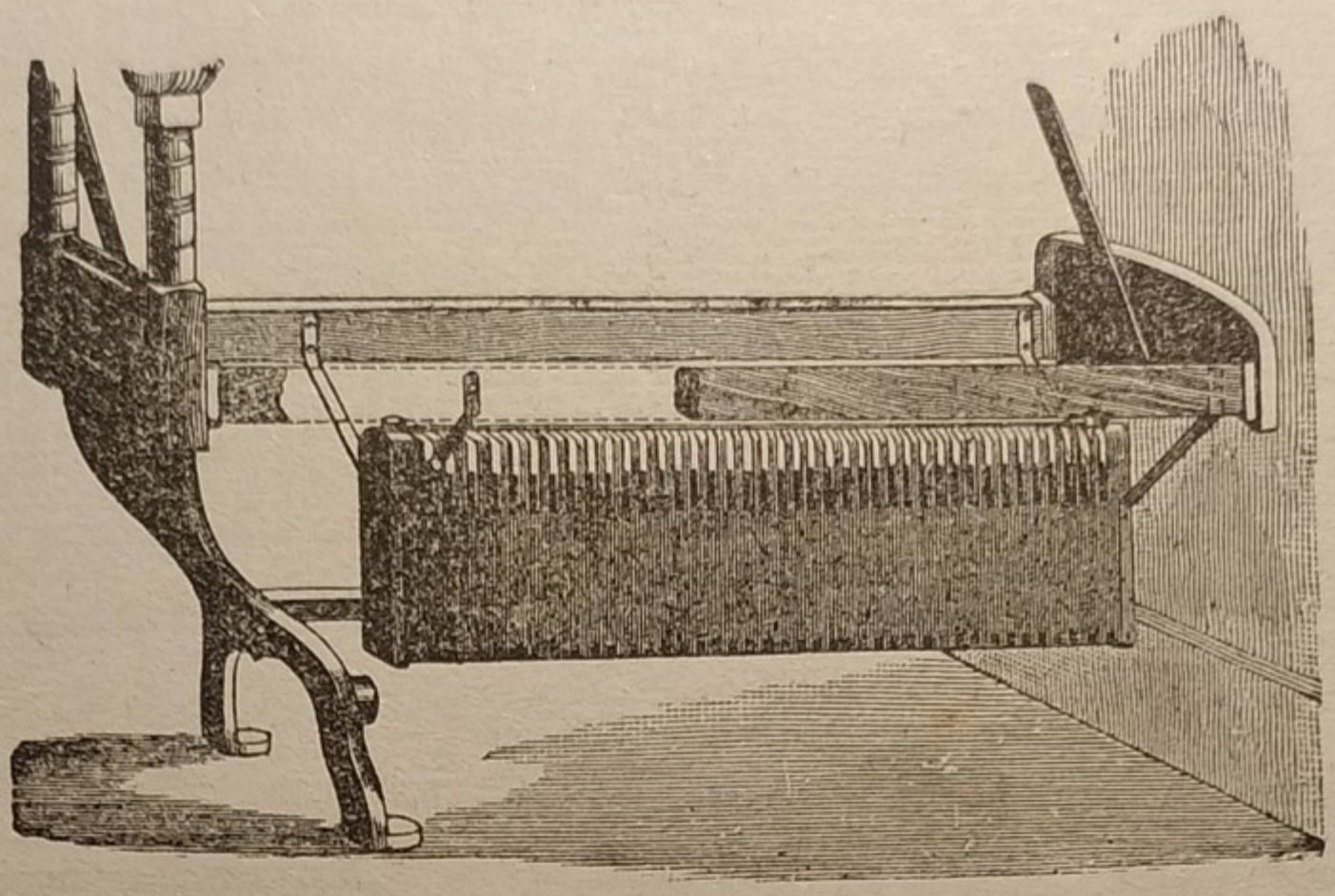


Fig. 34. — Calorifero posto sotto il sedile di un veicolo.

orifizi superiori Altri caloriferi destinati a riscaldare l'aria proveniente dall'esterno prima che si immetta nell'ambiente sono rappresentati dalle figure da 33 a 35.

Le ferrovie elettriche del Monte Salève (Ginevra), le quali si trovano nella condizione di avere nell'inverno un traffico assai meno intenso che nell'estate, utilizzano parte dell'eccesso di potenza, onde è suscettibile l'impianto di generazione dell'energia elettrica, per il riscaldamento delle vetture. Ciascuna di queste è all'uopo munita di due reostati, racchiusi entro scatole da centimetri 62×30×18, disposte sotto ai sedili. Ogni reostato comprende 42 avvolgimenti consistenti ciascuno in 6 metri di filo di ferro galvanizzato del diametro di un millimetro. Gli avvolgimenti di ciascun reostato sono tutti collegati di serie; e, soggetti alla differenza di potenziale di 500 volta, sono percorsi da una corrente di 15 ampère. Sotto l'azione di

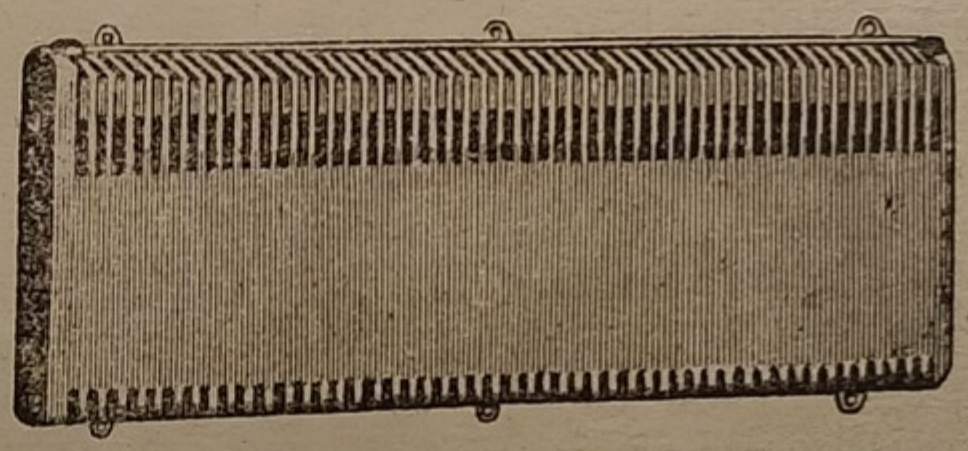


Fig 36. — Custodia del rocchetto.

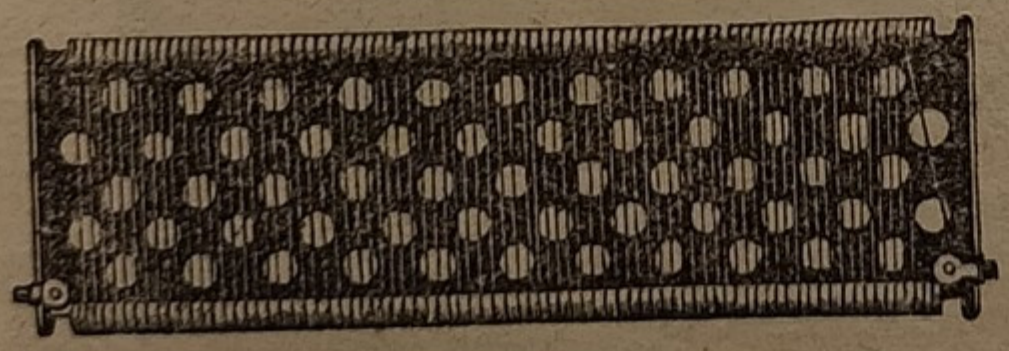


Fig. 35. — Rocchetto termico.

La spirale riscaldante, in metallo nudo, è avvolta sopra una gratella di sostanza isolante disposta in una custodia isolante. Questa è munita inferiormente e superiormente di aperture affinchè l'aria possa circolare intorno alla spirale.

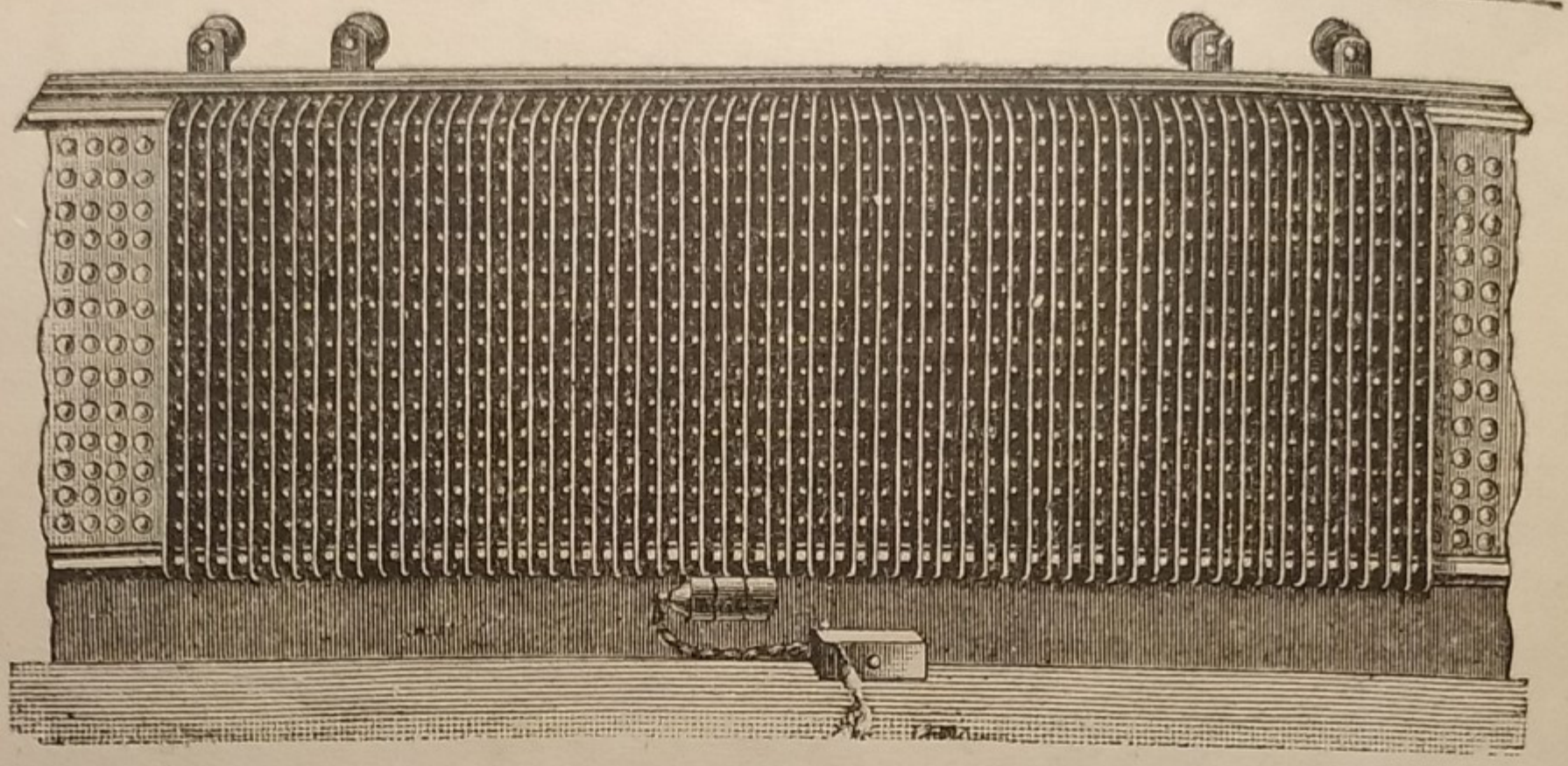


Fig. 37. — Calorifero per corridoi provvisto di regolatore.

questa corrente i due reostati assumono in pochi minuti una temperatura di poco inferiore a 100° C., riscaldando in breve convenientemente la vettura anche nei giorni più freddi. Non appena i conduttori raggiungono la temperatura di 100° C., l'intensità della corrente discende a circa 11 ampère.

Gli apparecchi di Blackwell per tramvie e ferrovie, un'applicazione dei quali fu fatta alle vetture della ferrovia elettrica Milano-Porto Ceresio, si distinguono in due categorie secondochè debbono essere disposti nelle vetture i cui sedili sono longitudinali ovvero in quelle i cui sedili sono trasversali. Consistono in spirali metalliche avvolte sopra nuclei di sostanza isolante. Ogni calorifero è costituito da due elementi: uno superiore e l'altro inferiore. L'equipaggiamento completo per una vettura si compone di parecchi di questi apparecchi, dei quali sono riunite tra di esse in serie le spirali superiori, e così pure tra di esse in serie quelle inferiori. Le spirali inferiori hanno minor resistenza elettrica di quelle superiori. Mediante un commutatore si può far circolare la corrente o nelle sole spirali superiori o nelle sole inferiori, oppure sia nelle une che nelle altre.

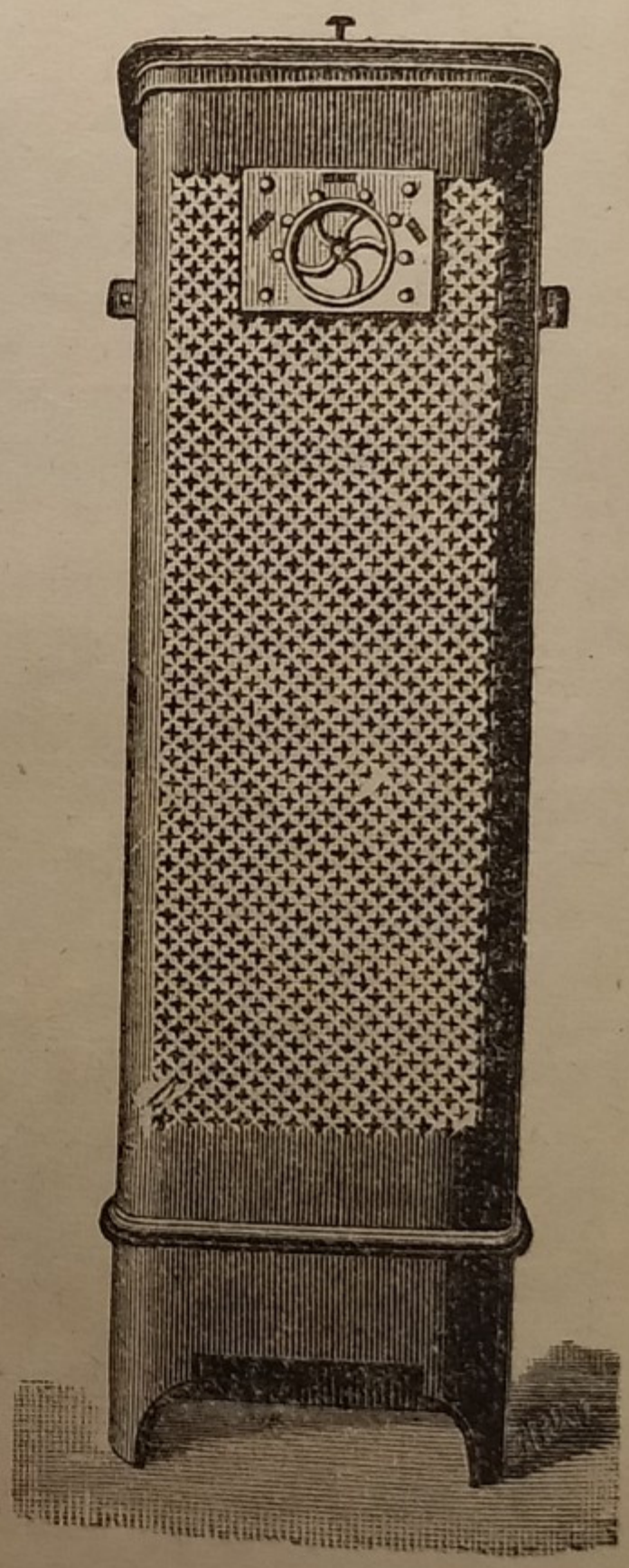


Fig. 38. — Stufa prismatica munita di regolatore.

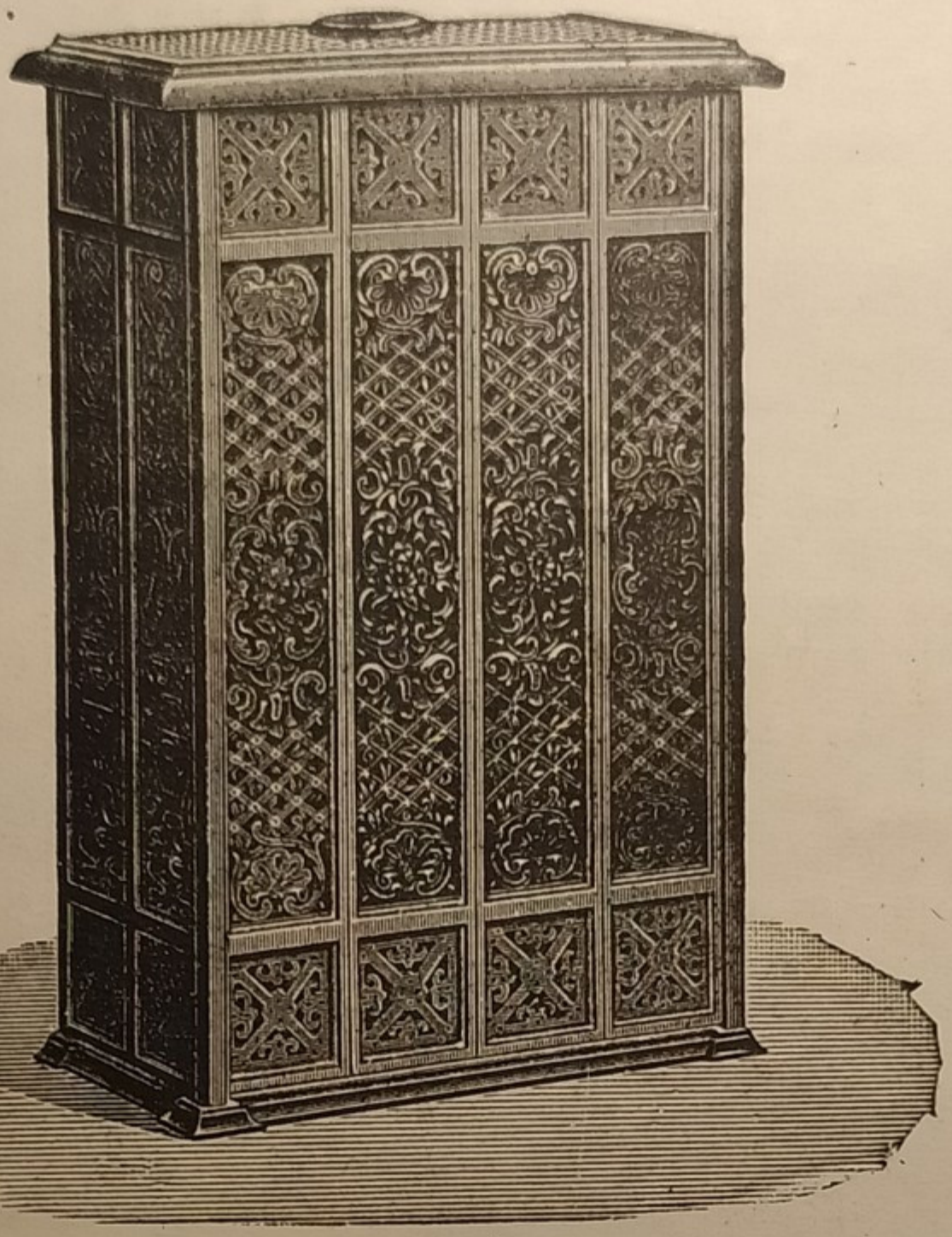


Fig. 39. — Altra stufa prismatica regolabile.

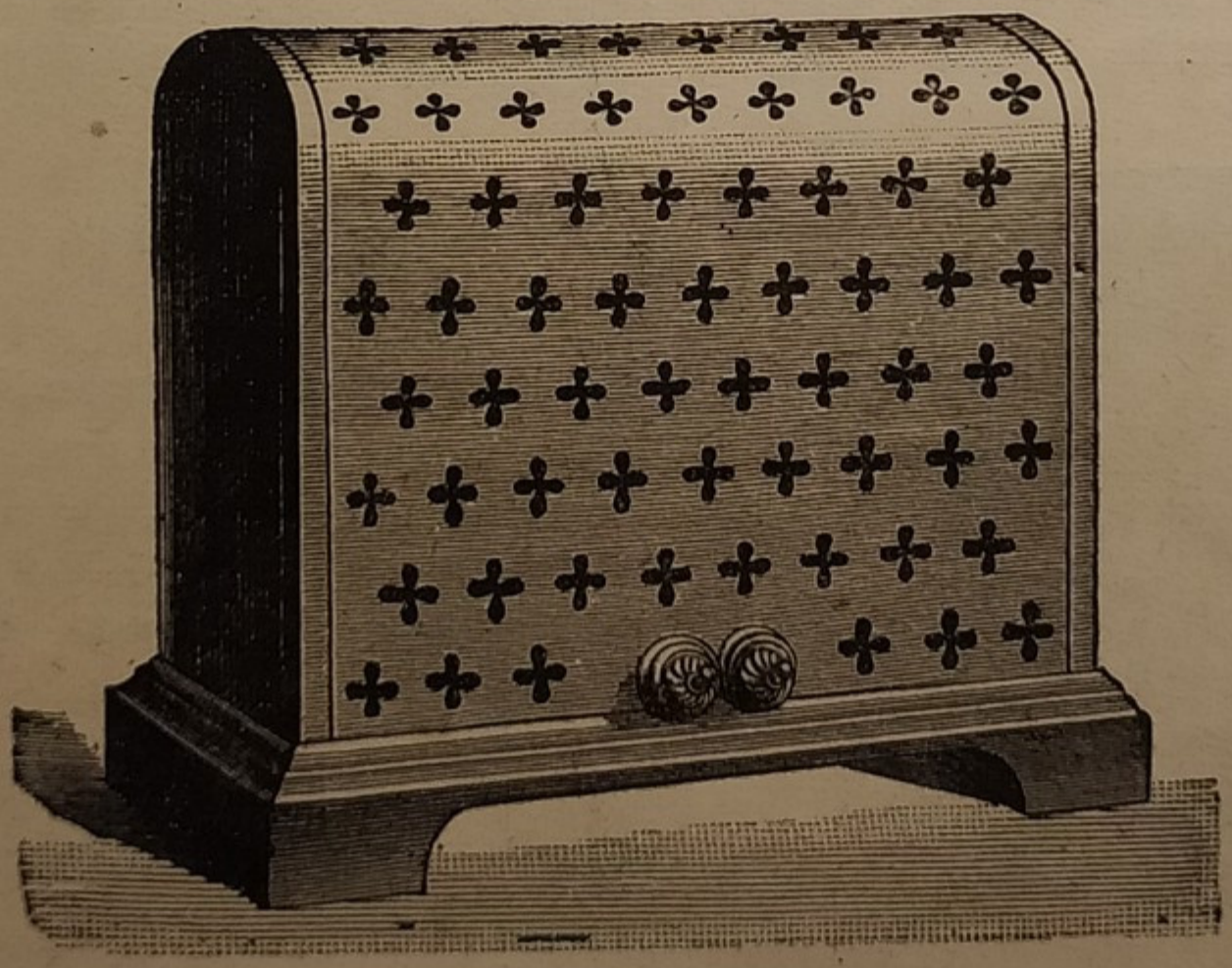


Fig. 40. — Stufa in forma di cofano munita di regolatore

Le figure da 37 a 40 mostrano alcuni tipi di apparecchi pel riscaldamento di corridoi e di piccoli e grandi locali di abitazione.

Le stufe testè messe in commercio sotto il nome di «Revo» (fig. 41, 42 e 43) hanno la caratteristica che i loro elementi elettrotermici constano di un filo metallico sinuoso disposto dal lato

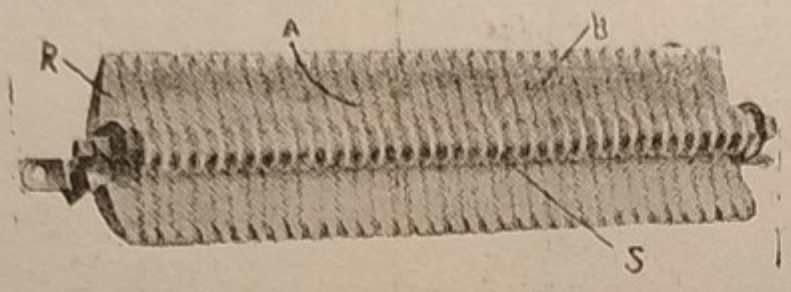


Fig. 41. — Elemento delle stufe **Revo**.

A — riflettore concavo in materiale refrattario dentato ai suoi lembi longitudinali.

A B — resistenza costituita da un filo di lega speciale.

S — rullo longitudinale scanalato.

della concavità di un riflettore in terra refrattaria avente la forma di un tegolo. Tale filo si avvolge su due serie di denti disposti rispettivamente ai due lembi longitudinali del riflettore e

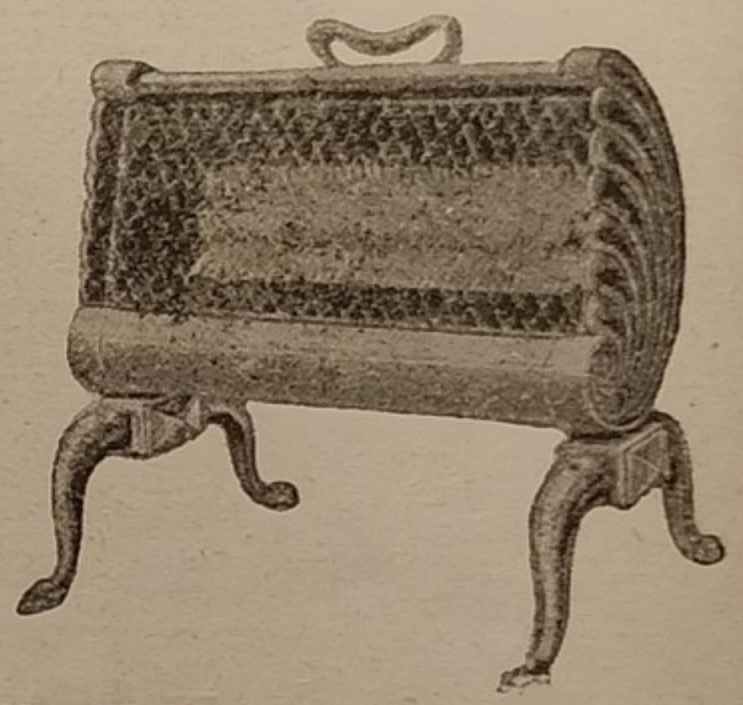


Fig. 42. — Piccola stufa **Revo** per scrivania in finto rame. Potenza 600 watt. Dimensioni m. 0,30 per 0,30 per 0,225. Peso 4 kg.

appoggia sulle scanalature di un rullo longitudinale mobile, il quale gli assegna la necessaria tensione (fig. 41). Al passaggio della corrente, il filo che è in diretto contatto con l'aria diventa

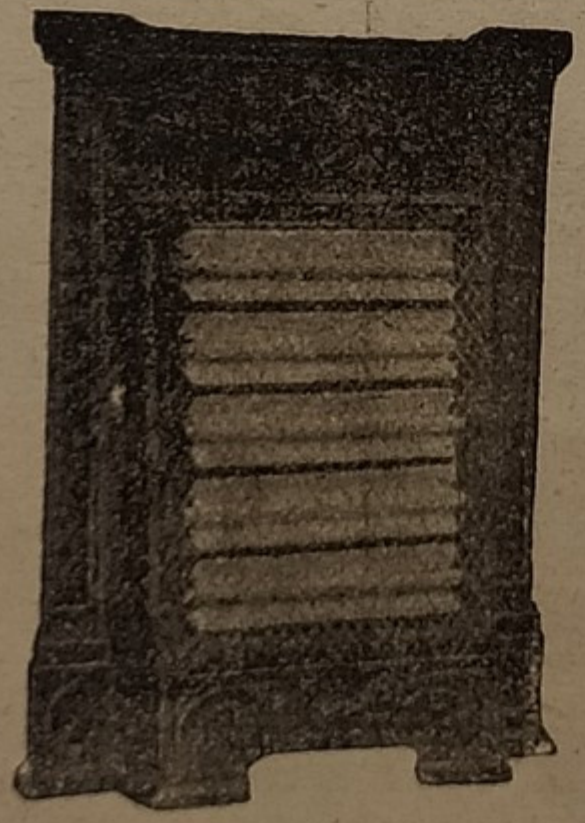


Fig. 43. — Stufa **Revo** per salottini, sale da pranzo e camere da letto.

E' in metallo nero opaco oppure in smalto porcellana verde scuro, marrone o bianco.

Potenza: da 2 a 3 chilowatt. Dimensioni: m. 0,5 × 0,68 × 0,125. Peso 15 kg.

incandescente, ed il calore che da esso emana viene in parte direttamente e in parte indirettamente a mezzo del riflettore trasmesso dall'ambiente. Evidentemente il filo deve essere di sostanza non ossidabile anche ad altissima temperatura. Il rullo

centrale, spostandosi automaticamente attorno ad un asse, mantiene sempre a conveniente distanza i segmenti del filo per modo che, dilatandosi questi sotto l'azione del calore, non si producano dei corti circuiti. Una reticella metallica preserva gli elementi elettrotermici da ogni contatto accidentale.

Anche le stufe dette « Fax » trasmettono analogamente il calore a mezzo di fili incandescenti.

A questi appàrecchi si potrà riferire, almeno in parte, quello che si dirà a riguardo delle lampade elettrotermiche (v. pag. 91); devesi però tener presente che queste ultime evitano la torrefazione del polviscolo contenuto nell'aria.

Stufe con resistenze parzialmente nude costituite da sottilissimi veli metallici deposti su sostanze isolanti.

Le resistenze che in questi apparecchi si utilizzano per la produzione del calore sono dei sottilissimi veli di metalli preziosi, e specialmente di platino e d'oro, dello spessore impercettibile d'una piccolissima frazione di millimetro, depositati su oggetti in sostanza isolante e in particolare in smalto o in mica. L'applicazione del velo metallico sull'isolante si ottiene mercè fondenti, allo stesso modo delle dorature sulle porcellane. Queste resistenze offrono il vantaggio di richiedere un tenue e quasi insignificante impiego di metallo e di offrire una estesissima superficie di contatto con l'aria.

Loro calcolazione.

Il calcolo di questi apparecchi, conosciuti generalmente sotto il nome di *Prometeo*, è semplicissimo. Il rivestimento metallico può essere parziale (vedi fig. 44), oppure esteso a tutta la parete. Siccome però nel caso che esso sia parziale le superfici che separano le striscie di metallo percorse dalla corrente sono strettissime e d'altra parte esse pure diverranno calde, sia nell'un caso come nell'altro si potrà ammettere che l'intera parete dal lato del rivestimento metallico trasmetta calore. Si potrà invece trascurare la trasmissione del calore dal lato opposto, perchè la forma del corpo sarà tale che ivi l'irradiazione sarà nulla, e o nulla o insignificante sarà la circolazione dell'aria.

Fig. 41.
Resistenza **Prometeo.**

Si stabilirà la forma da assegnarsi alla detta parete. Supponga si che essa sia sferica: il suo coefficiente di convessione

nell'aria tranquilla, riferito all'ora, sarà dato dalla formola di Péclet

$$a = 1{,}778 + \frac{0{,}26}{d},$$

essendo d il diametro della sfera.

Si assumeranno inoltre la quantità oraria di calore Q in calorie all'ora e le temperature t della sfera e t' dell'ambiente in gradi centigradi.

Sarà ora possibile di determinare il diametro d della sfera mercè la formola

$$Q = x\, a\, \pi\, d^2\, (t-t') + y\, i\, \pi\, d^2\, (t-t') = \pi\, d^2\, (t-t')\, (x\, a + y\, i),$$

ove rappresentano i il coefficiente di irradiazione e x e y i coefficienti di accrescimento di $t-t'$ (V. Tabelle a pag. 109 e 110).

Non si trascurò qui l'irradiazione, benchè la superficie irradiante sia lucente, perchè questa è completamente libera e non mascherata in gran parte come quella dei fili.

Ponendo l'espressione di a in questa equazione si avrà:

$$Q = \pi\, d^2\, (t - t') \left[x \left(1{,}778 + \frac{0{,}26}{d} \right) + y\, i \right],$$

e cioè

$$d^2 + \frac{0{,}26\, x}{1{,}778\, x + y\, i}\, d - \frac{Q}{\pi\, (1{,}778\, x + y\, i)\, (t - t')} = 0.$$

Ottenuto così d, si immaginerà tracciato sulla superficie sferica corrispondente il sottilissimo nastro conduttore. Supponga si che esso abbia lo sviluppo l e la larghezza h. Chiamando s il suo spessore, r la sua resistenza ohmica, ρ_t la sua resistività alla temperatura intermedia ed E la differenza di potenziale applicata a' suoi capi, si avrà:

$$Q = \frac{E^2}{r} = \frac{E^2}{l}\, \rho_t\, h\, s,$$

da cui si dedurrà il valore di s. Se esso non sarà conveniente, si modificherà l ed h. Potrà anche occorrere di dover modificare t e conseguentemente x e y e di dover trovare un nuovo valore di d.

Viceversa si potrà assumere s ed l oppure s ed h e determinare h oppure l.

Se la parete è invece o piana o cilindrica, si procederà analogamente nella calcolazione, determinando il coefficiente di convessione mercè le formole esposte a pag. 111.

Aggiungiamo che secondo le esperienze di Nicolai (Atti dell'Accademia dei Lincei) le resistività a 100° C. dell'argento, dell'oro e del platino, sono rispettivamente di 2,097, di 3,102 e di 15,102 microohm-cent. Si riscontrano delle discordanze notevoli nei risultati ottenuti da diversi esperimentatori intorno alla

resistività dei metalli preziosi (Cailletet, Bouty, Devvar, Fleming, Nicolai, ecc.) a cagione forse del diverso grado di purezza dei campioni su cui operarono. E però sarà bene di procedere ad esperimenti preliminari diretti su quelli di tali metalli di cui si farà uso.

Esempi di questi apparecchi.

Parecchi costruttori forniscono apparecchi fondati su questo principio dei quali la figura 45 porge un esempio.

In commercio trovansi degli assortimenti di sbarrette di sostanza isolante, costituita da un miscuglio di silicati naturali e artificiali, rivestite di un sottilissimo strato metallico, le quali, come quelle in silicio di Le Roi, di cui discorreremo, si possono adattare ai comuni apparecchi di riscaldamento. Il rivestimento metallico delle bacchette isolanti si ottiene immergendo queste, che sono porose, per modo che se ne impregnino in una soluzione di sali di metalli del gruppo del platino con del cloruro di ammonio o di altri sali ammoniacali: i sali vengono in seguito ridotti mediante il calore, mentre il metallo riempie i pori e riveste la superficie delle sbarrette isolanti. Il rivestimento metallico ha sensibilmente lo stesso coefficiente di dilatazione e di elasticità della sostanza isolante su cui è deposto. Le sbarrette si inseriscono nel circuito serrandole alle loro estremità entro pinzette metalliche che stabiliscono un buon contatto coi sottilissimi involucri metallici. Esse hanno la lunghezza di 25 cm. e il diametro variabile da 2 a 20 mm.

Fig. 45. — Stufa **Prometeo.**

Altezza da 47 a 76 cm. Consumo di corrente a 110 volta da 6 a 12 amp.

Le resistenze metalliche destinate a trasmettere il calore sono deposte parallelamente entro due feritoie che vi adducono la corrente.

Caloriferi formati da fili o nastri metallici rivestiti da guaine isolanti della stessa forma.

I conduttori di ferro galvanizzato o di rame, non possono essere soggetti a lungo a temperature ragguardevoli in diretto contatto coll'aria senza che si deteriorino in causa specialmente dell'ossidazione. Perciò si propose di proteggerli con un involucro inossidabile, che, per ragioni intuitive, dovrà anche essere isolante.

Il calcolo dei conduttori metallici protetti da una guaina isolante, abbiano essi la forma di fili o nastri rettilinei avvolti a spirale, non può presentare alcuna difficoltà dopo quanto si disse nel precedente capitolo. Il calore generato dalle correnti nei conduttori metallici sarà ceduto al loro rivestimento isolante e da questo all'aria che lo circonda. Tale energia calorifica dovrà vincere la resistenza termica dell'involucro isolante, la quale dipende dalla natura e dallo spessore di esso, e giunta alla superficie esterna si distribuirà all'aria nel modo noto.

Per formarsi un concetto dell'influenza di codesto involucro, supponiamo dapprima che esso sia un coibente perfetto: in tale caso il calore che si svolge successivamente nel conduttore, non potendo fluire all'esterno, ne eleverà man mano la temperatura e questa potrà anche determinare la fusione del conduttore. Supponiamo poi che l'involucro, essendo sempre un perfetto isolante della elettricità, sia anche un ottimo conduttore del calore: allora la resistenza opposta dall'isolante al passaggio del calore essendo trascurabile, il conduttore nei riguardi della trasmissione per convessione si comporterà come se fosse nudo ed avesse la stessa sezione del conduttore isolato. Praticamente l'isolante non essendo nè un perfetto coibente, nè un perfetto conduttore del calore, accadrà che opporrà una resistenza di valore intermedio al passaggio del calore, come si disse. Importa tener presente che l'involucro isolante non avrà sempre per effetto di diminuire la conduttività esterna del conduttore: in alcuni casi potrà anche aumentarla, giacchè nell'ipotesi, ad esempio, che il conduttore sia filiforme, tale involucro ne accrescerà il diametro, e perciò, benchè diminuisca per questo fatto il coefficiente di convessione, potrà aumentare tuttavia la quantità di calore ceduto all'aria per contatto. In altri termini, è possibile che la resistenza interna alla trasmissione del calore opposta dall'isolante possa essere, ne' suoi effetti, compensata ed anche più che compensata dalla maggiore trasmissibilità del calore all'aria. Aggiungasi che l'involucro potrà essere assai scuro od anche perfettamente nero, nel quale caso avrà per risultato di accrescere la trasmissione del calore per irradiazione.

Non conoscendosi delle sostanze che sieno ad un tempo dei perfetti conduttori del calore e dei perfetti isolanti dell'elettricità, per diminuire la resistenza termica dell'involucro, che è generalmente di sostanza vitrea, se ne deve ridurre per quanto possibile lo spessore. Quando l'involucro isolante sia sottilissimo ed inoltre più scuro della superficie del conduttore, questo, per le ragioni esposte, si potrà calcolare come se fosse nudo.

Parecchie vernici isolanti, da applicarsi in generale a caldo, vennero proposte per ottenere con esse i sottili rivestimenti dei conduttori: noi abbiamo avuto occasione di esperimentarne parecchie, ma queste non si comportarono in modo soddisfacente per le alte tensioni e durante un esercizio prolungato, giacchè si screpolarono e si staccarono dalle superfici metalliche in causa delle dilatazioni e dei restringimenti dovuti ai cambiamenti di temperatura, provocando anche dei corti circuiti; nè ci risulta che nello stato attuale della tecnica si sia in possesso di una vernice che soddisfi pienamente allo scopo. Potendo recare degli importanti servigi nella pratica, i chimici e gli industriali dovrebbero rivolgere i loro studi e le loro indagini alla ricerca di un tale prodotto.

Si dice ora che la Ditta « Allgemeine Elek. Gesellschaft » di Beriino produca dei fili di rame smaltati assai flessibili che sopportano la temperatura sino di 150° C. e delle tensioni assai elevate, anche di 2500 volta, senza deteriorarsi.

Calcolazione di questi apparecchi.

Dovendosi calcolare i conduttori isolati di un calorifero nel caso in cui l'involucro isolante non sia trascurabile nè per il suo spessore, nè per il suo coefficiente di irradiazione, si potrà procedere come segue (v. fig. 46). Siano t la temperatura del conduttore metallico supposto filiforme, θ quella della superficie esterna dell'involucro, t' quella dell'ambiente, s lo spessore del rivestimento isolante, h il suo coefficiente di trasmissione termica interna, a il suo coefficiente di convessione e i il suo coefficiente di irradiazione. Chiamando A il coefficiente di trasmissione del calore, sarà

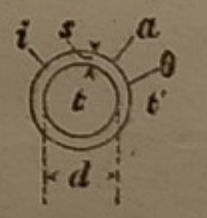


Fig. 46
Sezione trasversale del conduttore isolato riscaldante.

$$A = \frac{1}{\frac{1}{x\,a + y\,i} + \frac{s}{h}\frac{d}{2}\log^{ip}\frac{d + 2s}{d}},$$

ove x è y debbono avere i valori che corrispondono a $\theta - t^1$ e che sono dati dalle tabelle a pag. 109 e 110.

In proposito notiamo incidentalmente che in alcuni trattati nei quali viene considerato il caso della trasmissione del calore attraverso ad una parete tubolare dall'interno all'esterno, ci occorse di veder riferiti i coefficienti x e y di a e di i, sia per la superficie interna che per quella esterna della parete, a $t—t^1$ anche quando $t—t^3$ è assai grande, il che è evidentemente erroneo.

Ritenuto che l'involucro sia costituito da sostanza vitrea e se questa è trasparente il calore sia oscuro, si avrà:

$$h = 0{,}80 \text{ per mq.} \qquad i = 2{,}9 \text{ per mq.}$$

Come è noto, designando con l e con ρ_t rispettivamente la lunghezza e la resistività del filo alla temperatura t e con I l'intensità della corrente che lo percorre, si avrà

$$Q = A\,\pi\,d\,l\,(t-t^1) = \frac{\pi\,dl\,(t—t^1)}{\frac{1}{x\,a+2{,}9\,y}+\frac{sd}{2\times 0{,}8}\log^{ip}\frac{d+2s}{d}} =$$

$$= 0{,}863\,\rho t\,\frac{4\,l\,I^2}{\pi\,d^v};$$

da cui ricavasi

$$\frac{1}{x\,a+2{,}9\,y}+\frac{s}{0{,}8}\,\frac{d}{2}\log^{ip}\frac{d+2\,s}{d} = \frac{\pi^2\,d^3\,(t—t^1)}{4\times 0{,}863\,\rho t\,I^2};$$

la quale equazione, assumendo s, θ, t e t^1 ed essendo noti, perchè noti θ e t^1, i valori di x e y, permetterà di trovare i valori di a e di d, per i quali sussisteranno le condizioni poste.

Questa equazione, se s è piccolissimo a fronte di h, talchè vi si possa trascurare il 2° termine del 1° membro, si riduce alla seguente:

$$\frac{1}{x\,a+2{,}9\,y} = \frac{\pi^2\,d^3\,(t-t^1)}{4\times 0{,}863\,\rho_t\,I^2}.$$

Trascurando inoltre il calore irradiato, essa coinciderà colla formola (4) relativa ai conduttori nudi.

Caloriferi costituiti da resistenze metalliche racchiuse in piastre o cofani isolanti.

In questi apparecchi, come in quelli di cui si trattò nel paragrafo precedente, le resistenze, costituite da conduttori metal-

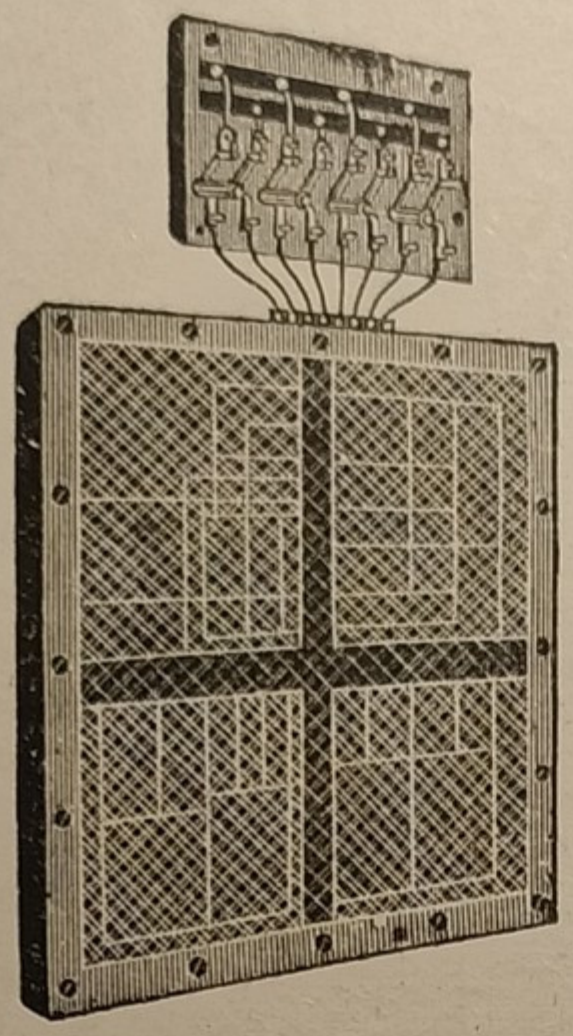


Fig. 47. — Piastra termica con regolatore della temperatura

lici, sono riparate dal contatto dell'aria. In essi però, a differenza dei primi, la superficie che trasmette calore all'aria è diversa, e notevolmente diversa, non solo per dimensioni ma anche per forma, dai conduttori nei quali al passaggio della corrente elettrica si genera l'energia calorifica.

Questi apparecchi si suddividono in due categorie secondochè l'involucro isolante aderisce intimamente oppure no ai conduttori metallici. Questi sia nell'uno che nell'altro caso possono essere sottilissimi non dovendo sopportare alcun sforzo meccanico, a differenza di quelli degli antecedenti apparecchi filiformi, e possono essere portati ad alte temperature anche se facilmente ossidabili data la tenacità e l'ermeticità dei loro involucri.

Sistemi in cui la sostanza isolante aderisce intimamente coi conduttori metallici.

La sostanza in cui sono allogati e a cui sono aderenti i conduttori metallici è in generale uno smalto o cemento o mastice vitreo. Essa può avere la forma di una piastra (vedi fig. 47 a 49) ed è applicata sopra una lamina metallica destinata a trasmettere all'esterno o la totalità o la maggior copia di calore. I conduttori sono dei fili metallici del diametro anche inferiore a $^1/_{10}$ di mm., e sono piegati in forma di sinusoide per attenuare gli effetti della loro dilatazione lineare. Se la piastra è colle sue due facce in contatto coll'aria, il calore svolto nel rispettivo filo, attraversando lo smalto, si porterà da un lato alla lamina metallica, e dall'altro lato alla superficie esterna dello smalto, dalle quali sarà ceduto all'ambiente. Benchè il filo sia posto per quanto è possibile vicinissimo alla rispettiva lamina metallica per rendere minima la resistenza che l'isolante interposto tra questa e quello oppone alla trasmissione del calore, tuttavia potrà accadere che mentre la temperatura del filo sarà anche di 300° C., quella media della parete metallica in contatto coll'aria, quando questa parete sia sufficientemente estesa rispetto allo sviluppo del filo, sia di 90° C.

Calcolazione di questi apparecchi.

Mercè un'ipotesi, abbastanza in armonia coi fatti, quando le spire del filo sieno tra di esse assai prossime, potremo calcolare in modo semplice e sufficientemente approssimato questi apparecchi. L'ipotesi consiste nel ritenere che la temperatura sia uniforme in ogni sezione della piastra parallela alle sue facce. Se, ad es., la temperatura del filo della piastra visibile nelle figure 48 e 49 potrà essere di 300° C., si ammetterà che sia uniforme e notevolmente inferiore a 300° C. la temperatura t di tutti i punti della piastra contenuti nel piano che passa per l'asse del filo: la temperatura sarà uniforme in tutte le sezioni parallele a questo piano e decrescerà uniformemente dal filo alla lamina metallica, e pure uniformemente, ma in generale in diversa misura, dal filo alla superficie nuda dello smalto.

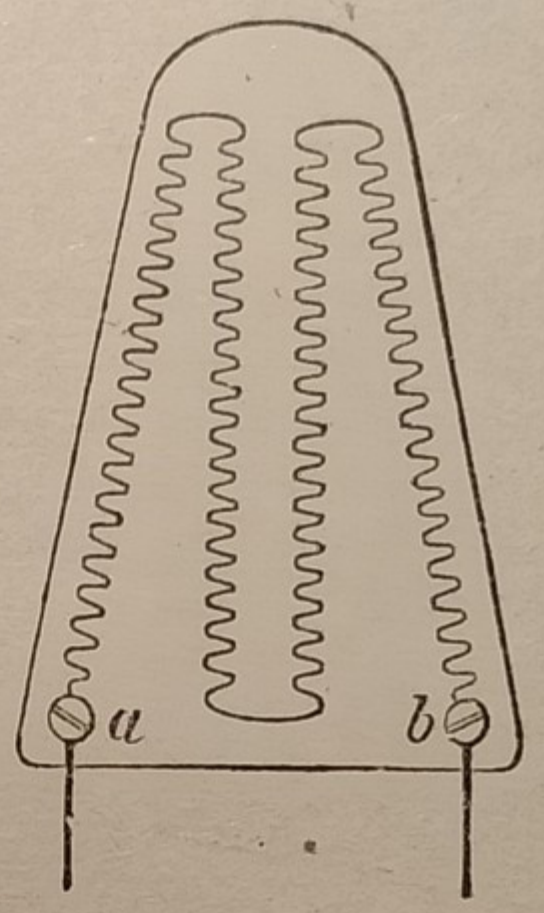


Fig. 48.
a e **b** serrafili.
Prospetto.

Fig. 49.
Sezione trasversale.

Fig. 48 e 49.
Piastra di riscaldamento.

Effettivamente invece il calore che emana dal filo si propagherà in ogni direzione in tutta la piastra e lo smalto situato tra le spire del filo stesso assorbirà da queste del calore durante tutto il tempo in cui vi circola la corrente, dapprima perchè è freddo e poi perchè cederà calore verso le due facce esterne; la sua temperatura dovrà pertanto essere inferiore a quella del filo. E così la temperatura t, invece di essere quella del filo, sarà quella media della sezione della piastra passante pel filo.

Calcolo di un elemento termoelettrico.

Ciò posto, ecco come si potrà procedere nella calcolazione della piastra. Si premette che a cagione delle dimensioni e della natura delle superfici trasmettenti il calore all'ambiente, non si può più trascurare l'irradiazione: inoltre sono ad esse applicabili le formole di Dulong e Petit e di Péclet che esporremo in seguito in altro Capitolo (vedi pag. 108). Essendo dato Q e conoscendosi la differenza di potenziale costante diretta o alternativa, si calcolerà nel modo che si disse (vedi pag. 21) la resistenza r del filo allogato nella piastra.

Questo filo, per lo stesso metallo, potrà essere sottile e corto

ovvero grosso e lungo, per soddisfare alla condizione di avere il valore r della resistenza. Conoscendosi la forma e le dimensioni che vuolsi assegnare alla piastra, si disegnerà la figura, piuttosto fitta, che intendesi vi abbia il filo, e di questo si determinerà la lunghezza e il diametro. Si stabilirà quindi la temperatura media t della sezione della piastra che passa pel filo, la quale temperatura deve essere inferiore di 50° C. almeno a quella massima che il filo può sopportare impunemente; così pure la temperatura θ alle due superfici esterne della piastra destinate a cedere calore all'ambiente, nonchè la temperatura t^1 di questo (V. fig. 50). Ritenendo che la piastra possa da ambedue le sue facce cedere calore tanto per convessione come per irradiazione e che se il suo smalto è trasparente il calore sia oscuro per cui lo smalto stesso risulti in ogni caso atermane, trascurando inoltre la resistenza interna, insignificante, che la lamina metallica oppone al passaggio del calore, si potrà stabilire l'equazione

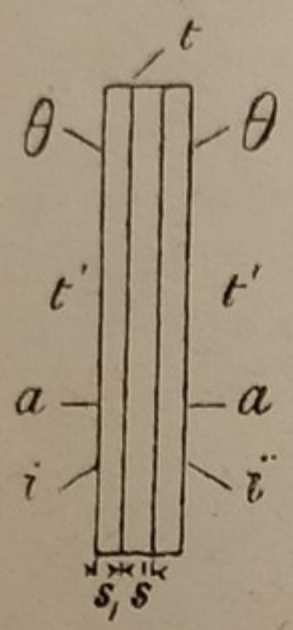


Fig. 50.

Sezione trasversale della piastra termica.

$$Q = S\,(t - t^1)\left[\frac{1}{\frac{1}{x\,a + y\,i} + \frac{s}{h}} + \frac{1}{\frac{1}{x\,a + y\,i_1} + \frac{s_1}{h}}\right],$$

essendo S la superficie comune alle due facce della piastra, s e s_1 gli spessori dello smalto ai due lati del filo, h la conduttività interna dello smalto, x e y i coefficienti corrispondenti alla temperatura $\theta - t^1$ dei coefficienti di convessione a e di irradiazione i e i_1. Il coefficiente a è comune alle due facce, ritenendo che abbiano esse la stessa forma e le stesse dimensioni; i coefficienti i e i_1 perchè si riferiscono l'uno allo smalto e l'altro alla ghisa, avranno invece valori diversi.

Bisognerà ora trovare un'altra relazione tra s e s_1. Evidentemente, in base alle ipotesi fatte intorno alle temperature, s e s_1 non potrebbero essere eguali se non nel caso che non solo il coefficien-

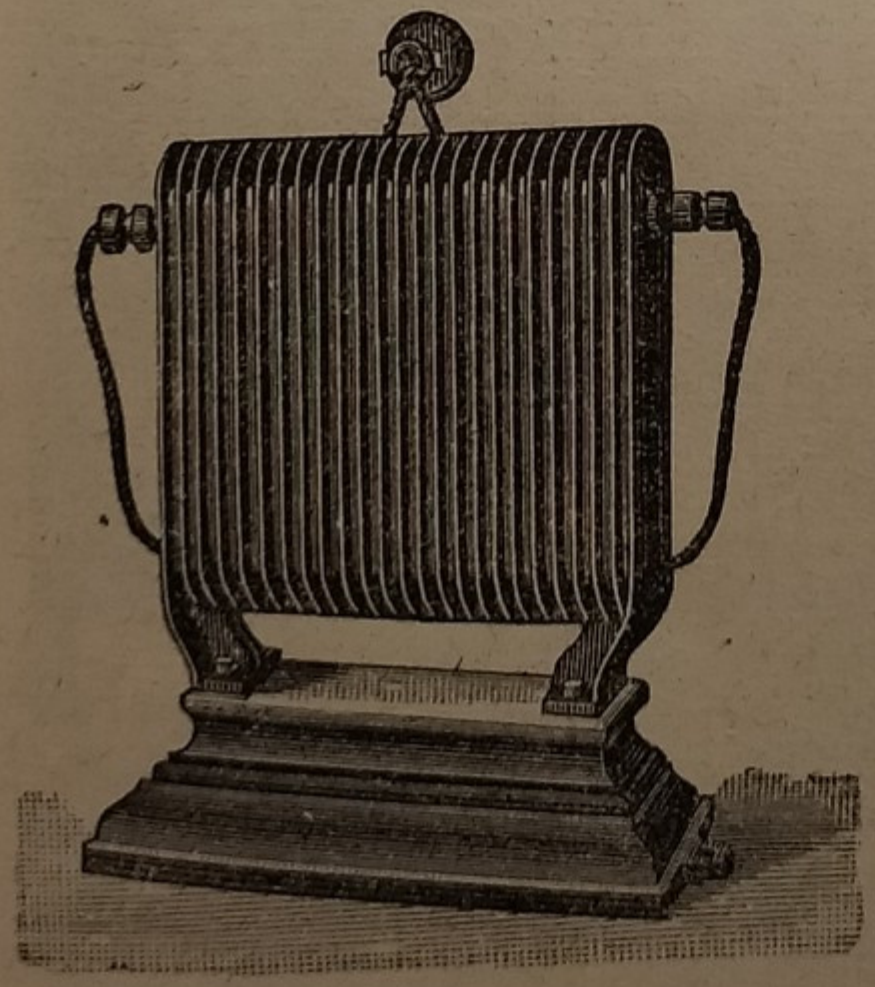


Fig. 51. — Stufa in forma di schermo.

te di convessione, ma anche quello d'irradiazione, sia eguale per le due facce della piastra, e cioè nel caso in cui ambe le facce siano o nude o rivestite da lamine metalliche perfettamente identiche alla loro superficie esterna; nel qual caso sarebbero pure eguali le quantità di calore che nello stesso tempo fluirebbe dalle due facce. I coefficienti d'irradiazione essendo disuguali, lo spessore dello smalto dovrà essere minore dal lato ove è maggiore il coefficiente di irradiazione. E invero osserviamo che la quantità di calore che attraversa lo spesso s è espressa da

$$(t - \theta)\frac{S\,h}{s} = (\theta - t^1)\ \frac{S}{\frac{1}{x\,a + y\,i}},$$

di cui ricavasi

$$(t - \theta)\frac{h}{s} = \frac{\theta - t^1}{\frac{1}{x\,a + y\,i}} = (\theta - t^1)\,(x\,a + y\,i).$$

Analogamente, considerando la quantità di calore che attraversa lo spessore s_1, si dedurrà

$$(t - \theta)\frac{h}{s} = (\theta - t^1)\,(x\,a + y\,i_1).$$

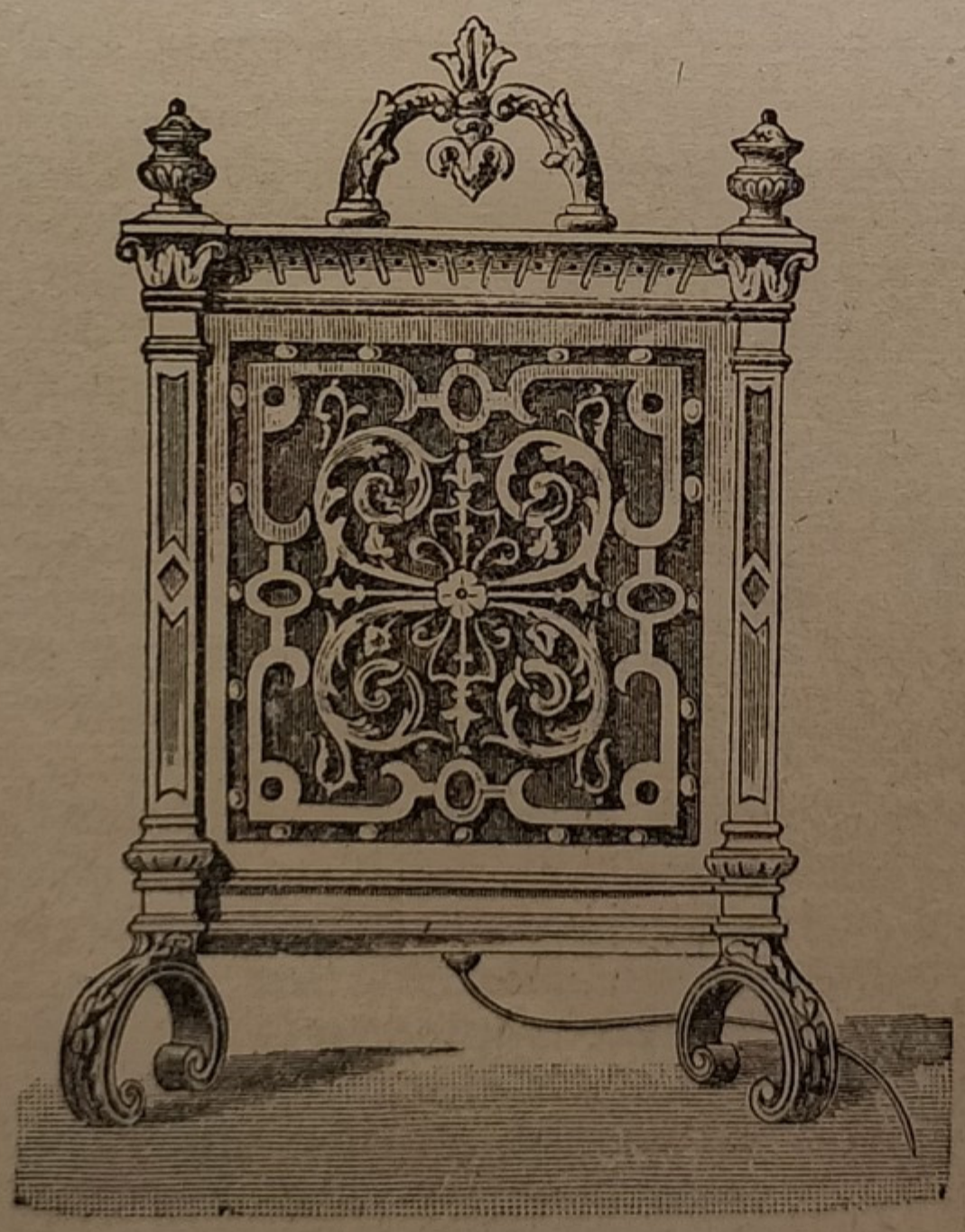


Fig. 52. — Stufa in forma di paravento.

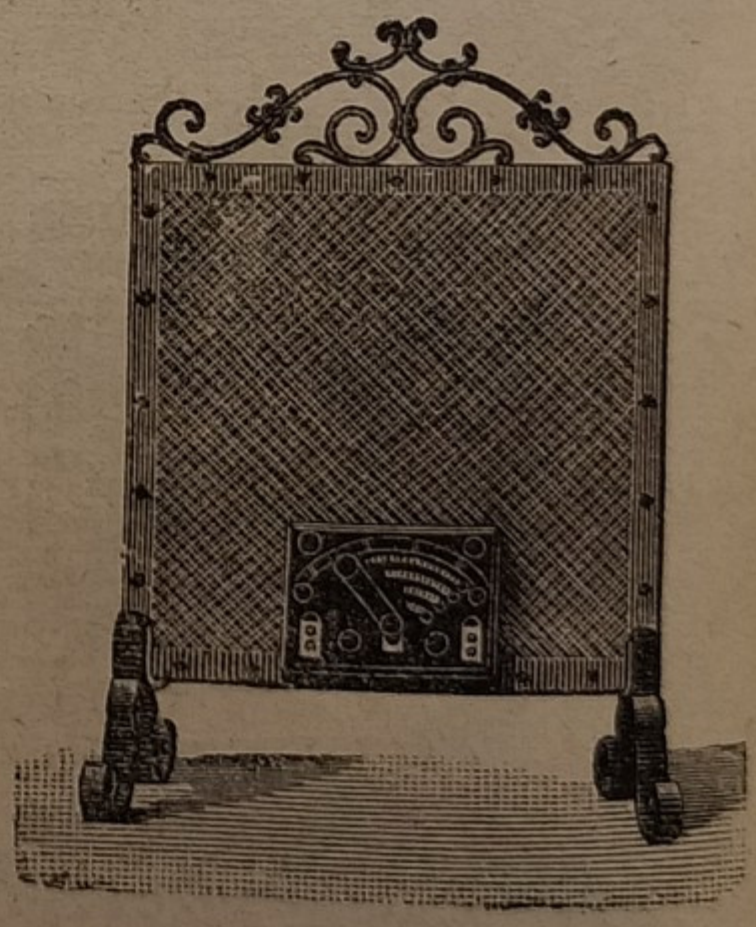


Fig. 53. — Stufa in forma di paravento munita di regolatore.

Dividendo membro a membro la penultima per l'ultima equazione, si otterrà

$$s_1 = s \frac{x\,a + y\,i}{x\,a + y\,i_1}.$$

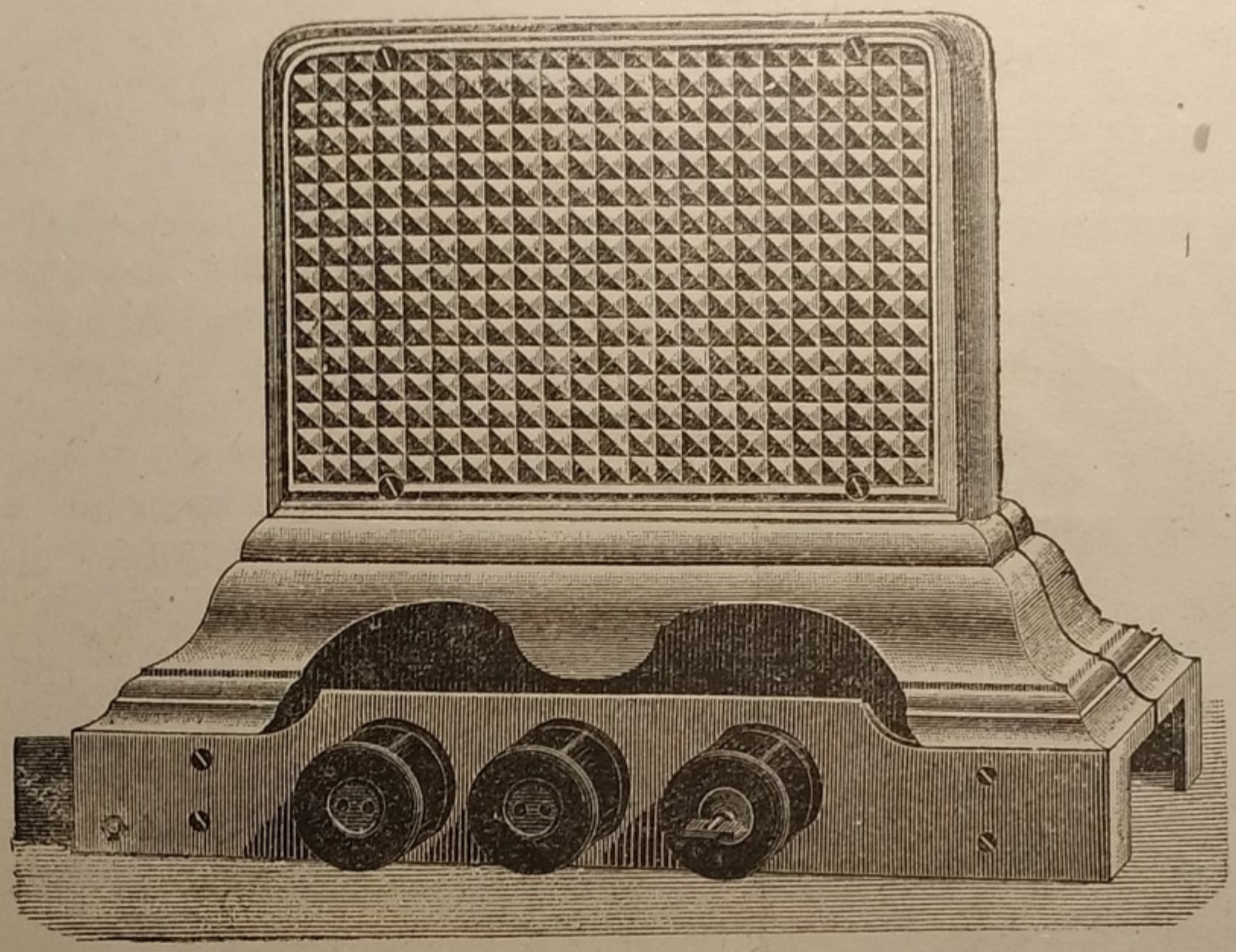


Fig. 54. — Stufa in forma di schermo.

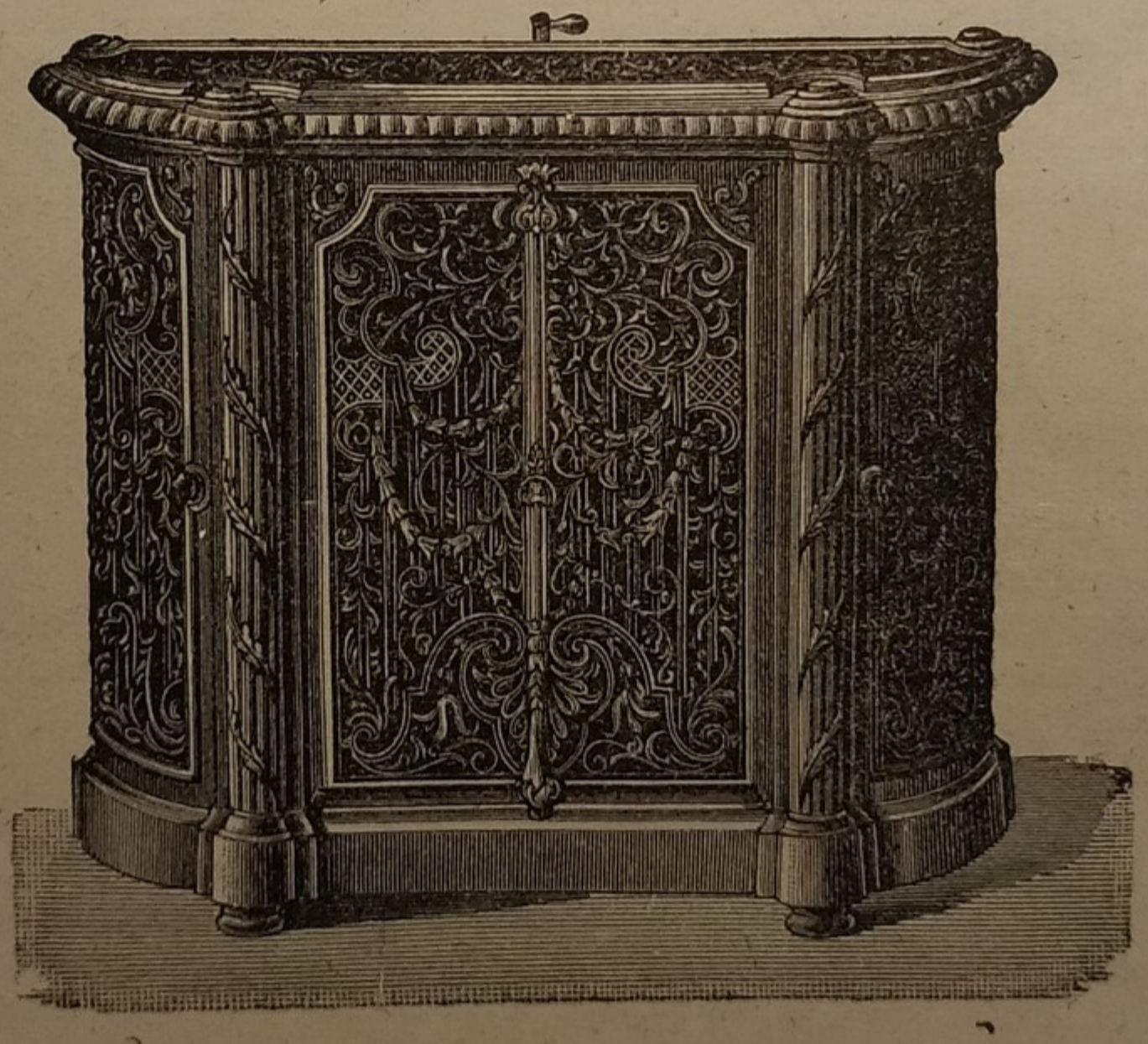


Fig. 55. — Stufa in forma di armadio.

Il calcolo si può rendere ancora più semplice trascurando nella soprascritta espressione di Q i termini, di valore assai piccolo, $\frac{s}{h}$ e $\frac{s_1}{h}$. Si avrà allora

$$Q = S\,(t - t^1)\left[\frac{1}{\frac{1}{x\,a + y\,i}} + \frac{1}{\frac{1}{x\,a + y\,i_1}}\right].$$

In questo caso si dovrà verificare, ricorrendo alla formola di Péclet, se esistano dei valori convenienti corrispondenti di S e di a che soddisfacciano a questa espressione, nel qual caso si adotteranno. In caso diverso, si modificherà t o θ oppure ambedue, avvertendo che un cambiamento di θ implica anche una variazione di x e di y.

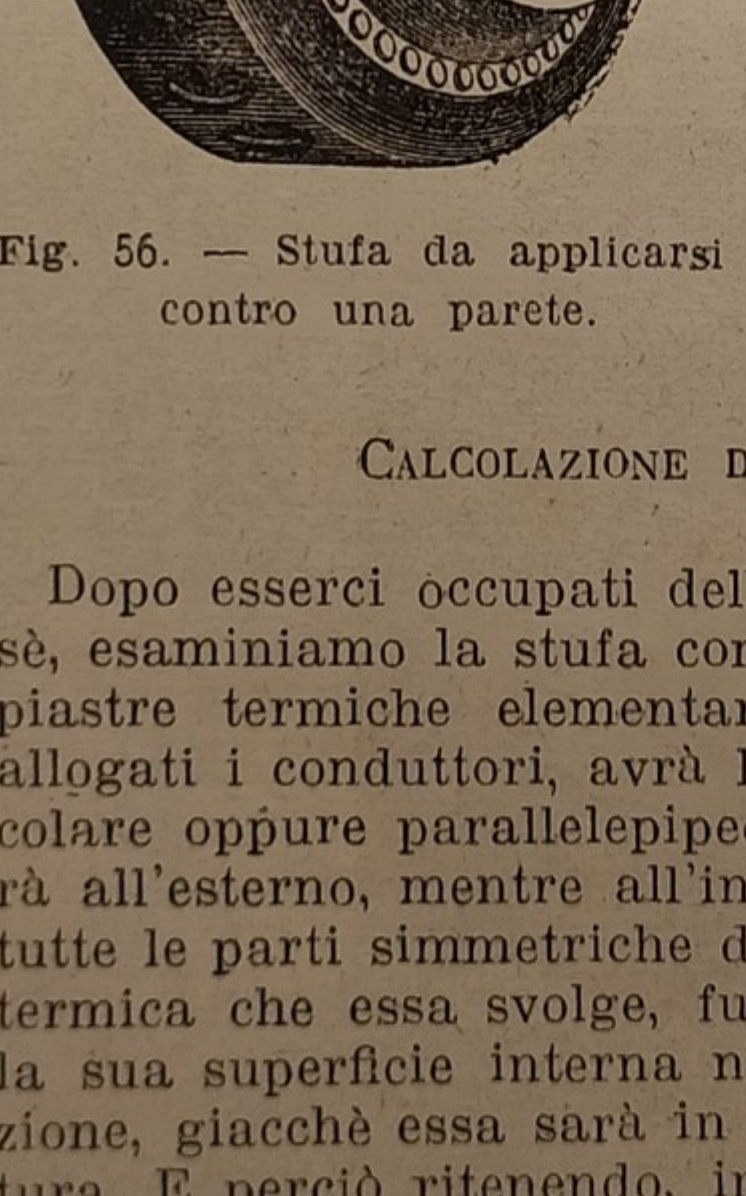


Fig. 56. — Stufa da applicarsi contro una parete.

Se la piastra emette calore da una sola faccia, quella a cui corrisponde il coefficiente di irradiazione i, essendo l'altra faccia addossata ad una parete coibente, sarà

$$Q = \frac{S\,(t - t^1)}{\frac{1}{x\,a + y\,i}}.$$

Calcolazione del calorifero completo.

Dopo esserci occupati della piastra destinata a funzionare da sè, esaminiamo la stufa completa, che risulta da un insieme di piastre termiche elementari. La sostanza vitrea in cui sono allogati i conduttori, avrà la forma di una ordinaria stufa circolare oppure parallelepipeda; il suo rivestimento metallico sarà all'esterno, mentre all'interno essa sarà nuda. Ammesso che tutte le parti simmetriche della stufa, qualunque sia la potenza termica che essa svolge, funzionino nelle medesime condizioni, la sua superficie interna non potrà cédere calore per irradiazione, giacchè essa sarà in ogni suo punto alla stessa temperatura. E perciò ritenendo, in considerazione del piccolo spessore della parete di smalto e di metallo a fronte del diametro o dei lati della stufa, che la superficie interna e quella esterna sieno

eguali e che esse abbiano inoltre comune il coefficiente di convessione, si potrà calcolare la stufa mercè le formole:

$$Q = S\,(t - t^1)\left| \frac{1}{\frac{1}{x\,a + y\,i} + \frac{s}{h}} + \frac{1}{\frac{1}{x\,a} + \frac{s_1}{h}} \right|,$$

$$s_1 = s\,\frac{x\,a + y\,i}{x\,a}.$$

Gli spessori s e s_1 si potranno pure determinare in funzione di θ mediante le seguenti formole che risultano dalle precedenti:

$$\theta = \frac{t\,\frac{h}{s} + t^1\,(x\,a + y\,i)}{\frac{h}{s} + x\,a + y\,i} = \frac{t\,\frac{h}{s_1} + t^1\,x\,a}{\frac{h}{s_1} + x\,a}.$$

Giova osservare che, a differenza di ciò che potrebbesi credere, devesi assegnare a s e a s_1 dei valori abbastanza sensibili affinchè θ risulti notevolmente inferiore a t. E valga il seguente esempio. Suppongasi

$$\theta = 90^\circ C. \qquad t = 100^\circ C. \qquad t^1 = 15^\circ C. \qquad a = 2{,}7.$$
$$i = 3{,}36 \text{ (riferendosi alla ghisa)} \qquad \theta - t^1 = 75^\circ C.$$
$$\text{e perciò } x = 1{,}51 \qquad y = 1{,}45;$$

risulterà

$$x\,a = 4{,}057 \qquad y\,i = 4{,}872.$$

Ponendo questi valori e inoltre $h = 0{,}75$ (sostanza vitrea) nell'espressione di θ, si avrà

$$90 = \frac{400\,\frac{0{,}75}{s} + 15 \times 8.929}{\frac{0{,}75}{s} + 8{,}929} = \frac{100\,\frac{0{,}75}{s_1}\ 15 \times 4{,}057}{\frac{0.75}{s_1} + 4{,}057};$$

da cui ricavasi

$$s = {}^{m}/_{m}\ 11 \qquad s_1 = {}^{m}/_{m}\ 24.$$

Vedesi adunque che per ottenere di 90° C. la temperatura delle superfici della stufa in contatto coll'aria a 15° C., mentre è di 100° C. quella media della sua sezione in cui giaciono i conduttori (e perciò di 150° C. circa quella dei conduttori stessi se le loro spire sono assai prossime), devesi dare allo smalto lo spessore di 35 m/m.

In questi nostri ragionamenti si è supposto che tanto la superficie esterna come quella interna della stufa siano della stessa forma: invece la parete metallica esterna sarà in generale munita di numerose nervature verticali, mentre la superficie

vitrea interna sarà liscia. Ma sarà agevole il tener conto delle nervature avvertendo che esse sono generalmente tali da raddoppiare l'area della superficie trasmettente calore, nel qual caso la trasmissione del calore sarà accresciuta di circa il 50 %.

In questo caso l'espressione di Q, trascurando i termini $\frac{s}{h}$ e $\frac{s_1}{h}$, sarà

$$Q = S\,(t - t^1)\,[1.5\,(x\,a + y\,i) + x\,a] =$$
$$= S\,(t - t^1)\,[2{,}5\,x\,a + 1{,}5\,y\,i],$$

avendovi tutti i simboli gli stessi precedenti valori, ad eccezione di S ed a che l'equazione permetterà di calcolare per approssimazioni successive sapendosi dalla formola del Péclet quali sieno i valori corrispondenti di S ed a.

Noto a, si potrà mediante la testè indicata espressione di θ determinare s ed s_1.

Esempi di questi apparecchi.

Parecchie difficoltà si dovettero superare nella costruzione di questi apparecchi. Innanzi tutto si dovette trovare una sostanza vitrea che aderisse perfettamente alle piastre e ai conduttori metallici, che fosse un ottimo isolante dell'elettricità anche a temperatura elevata, che avesse un alto punto di fusione per poter reggere alle eventuali esagerate temperature dipendenti da corti circuiti, che inoltre fosse sufficientemente elastica da poter subire le successive dilatazioni e contrazioni senza fendersi o screpolarsi e mettere a nudo o in contatto coll'involucro metallico i conduttori della corrente, e che infine riescisse perfettamente compatta, e cioè priva di benchè piccole bollicine d'aria, giacchè queste potrebbero screpolarla in causa delle pressioni che assumerebbero sotto forte riscaldamento. La resistività di tale sostanza risultò pari a quella del vetro, e cioè di un milione di megaohmcent. a 61° C. circa; come quella del vetro essa va diminuendo col crescere della temperatura. Il suo punto di fusione oscilla intorno a 850° C. Il suo coefficiente di dilatazione è alquanto superiore a quello del vetro ordinario, che è di 0,000009. Per le lamine si dovette scegliere un metallo che avesse lo stesso coefficiente di dilatazione e lo stesso coefficiente di elasticità dello smalto vitreo affinchè le piastre possano comportarsi come un sol pezzo omogeneo sotto le variazioni di temperatura. Fortunatamente tale metallo è quello che si può ottenere con poca spesa nella forma più appropriata, e cioè la ghisa, la quale quando è greggia offre anche il vantaggio di avere un alto coefficiente di irradiazione superficiale del calore. I conduttori sono o di ferro, o di ferro al nichelio, o di argentana o di platino. Essi, come già si disse, sono sottilissimi: il loro diametro varia da $^1/_{10}$ a $^8/_{10}$ di millimetro. Per la buona con-

servazione delle placche importa che essi non sieno soggetti a temperatura superiore a 300° C. A questa temperatura la resistività del ferro, dell'alluminio, del nichelio, dell'argento, del platino e dell'oro sono rispettivamente di microohmcent 32,78 — 6,56 — 42,73 — 3,24 — 22,49 — 4,85, giusta le esprienze di Nicolai.

Gli apparecchi più comuni sono costrutti in generale per la tensione di 110 volta. Alcuni di essi, in forma di tabelle e di dischi (V. fig. 47 e 56), adatti per piccoli ambienti, si applicano contro alle pareti, e non sono affatto ingombranti; essi, a seconda delle dimensioni, assorbono 500, 800 e 1100 watt. Altri, consistenti in stufe amovibili, assorbono da 11 a 35 ettowatt: una lampada interna serve a segnalare quando sono in azione e simula la presenza del fuoco. Altri sono dei potenti caloriferi che assorbono anche 33 kilowatt. In generale sono progettati per modo che possono emettere tanti ettowatt quanti sono i decimetri quadrati della loro superficie esterna.

Si costruiscono pure apparecchi per ambienti da 100, da 200 e da 400 mc., capaci di assorbire rispettivamente 5,5-11 e 22 kilowatt.

Le fig. da 51 a 55 rappresentano altre forme adottate per gli apparecchi riscaldanti, sia di questo, sia di altri sistemi.

Sistemi in cui la sostanza isolante non è aderente ai conduttori metallici.

I conduttori in metallo nudi, destinati ad essere sottoposti ad alta temperatura, vengono anche isolati e sottratti all'azione dell'aria, disponendoli sotto le forme già accennate di elica, spirale, sinusoide, ecc., in un imbottito di amianto racchiuso in pareti metalliche. In tal caso il calore che emana dai conduttori elettrici, attraversando l'amianto, si porterà alle pareti metalliche che lo cederanno all'ambiente, analogamente a quanto avviene pei caloriferi precedentemente esaminati, essendo l'amianto un buon isolante, che si conserva tale anche ad alte temperature, le quali esso può sopportare senza alterarsi, ed un sufficiente buon conduttore del calore. L'amianto allo stato di filamento può essere più o meno compresso, e contenere quindi più o meno dell'aria interposta; e così sarà in condizione di opporre una differente resistenza alla trasmissione del calore: e però non sarà agevole di conoscerne, senza esperimenti diretti, il valore del coefficiente di conduttività termica interna.

Alcuni costruttori per isolare e difendere dall'aria i conduttori metallici si servono simultaneamente sia dell'amianto o dell'asbesto e sia di un cemento: e cioè avvolgono i conduttori ricoperti di amianto su fili di amianto e rivestono il tutto con un

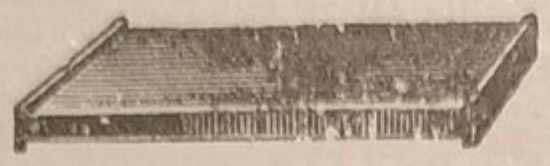


Fig. 57.
Elemento termico piano parallelepipedo.

Fig. 58.
Elemento termico piano con una sola serie di alette.

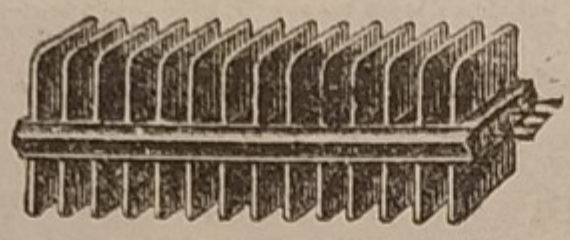


Fig. 59
Elemento termico piano con due serie di alette.

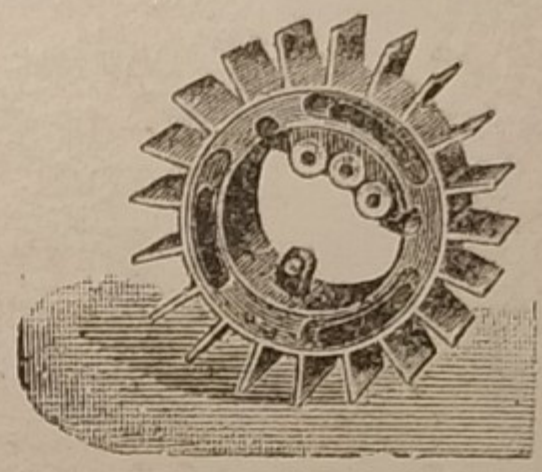


Fig. 60.
Elemento termico tondo con una serie di alette.

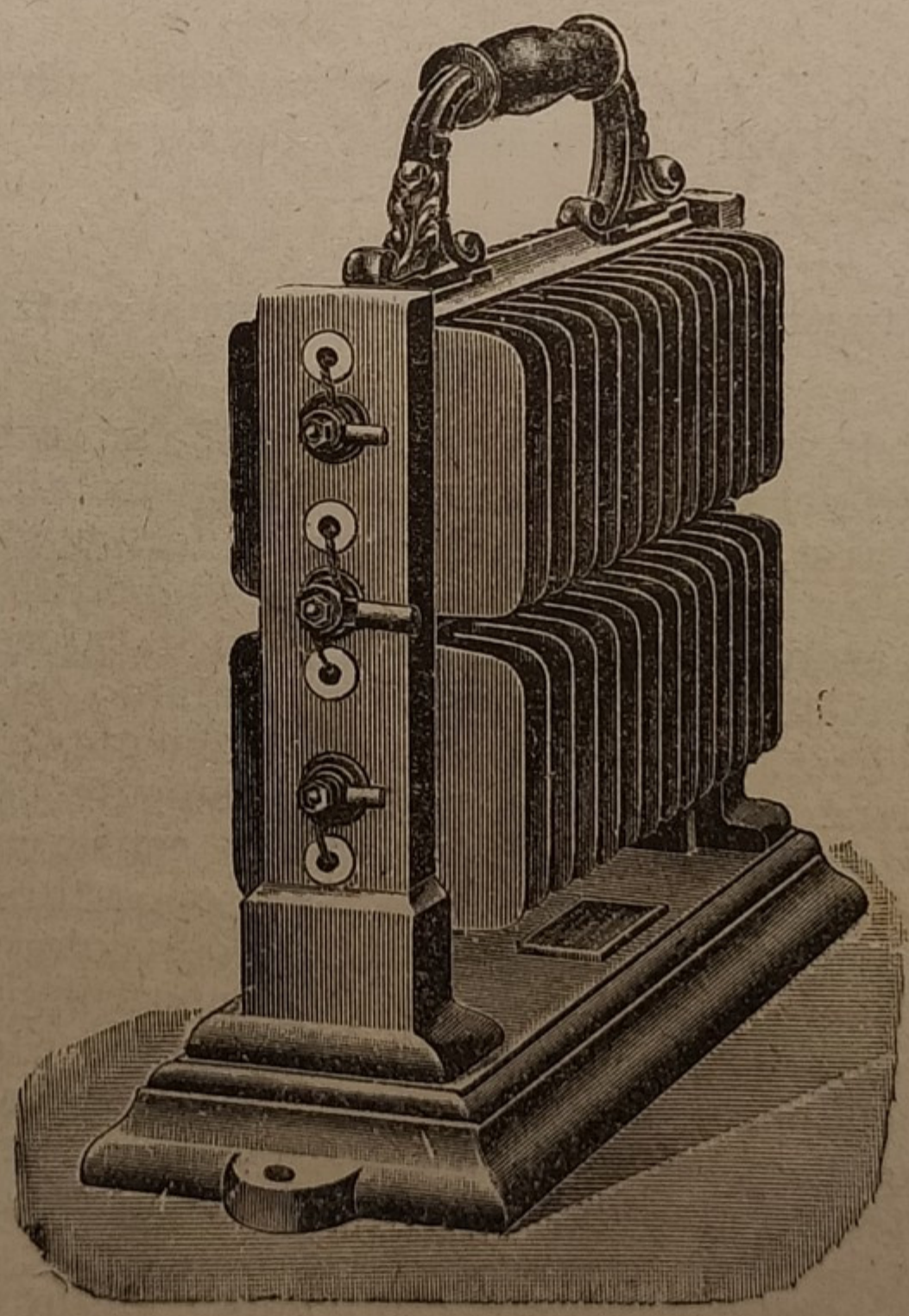


Fig. 61. — Corpo calorifico costituito da due elementi rettilinei ad alette — Dimensioni: mm. 450 × 130 × 270 — Peso: 16 Kg. circa — Consumo: da 6 a 12 kilowatt.

cemento che fanno aderire alle pareti metalliche destinate a trasmettere il calore. In tal guisa i conduttori elettrici, pur essendo

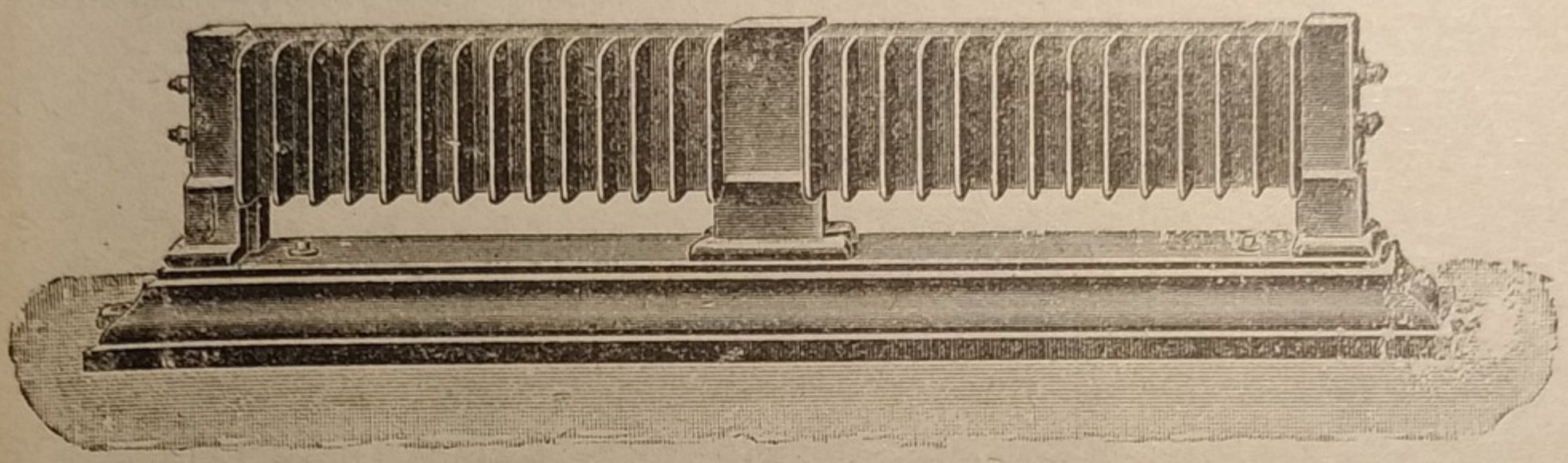


Fig. 62. — Stufa per tramvie — Dimensioni: mm. 750 × 150 × 170 — Peso: 21 kg. circa — Consumo: da 6 a 12 kilowatt.

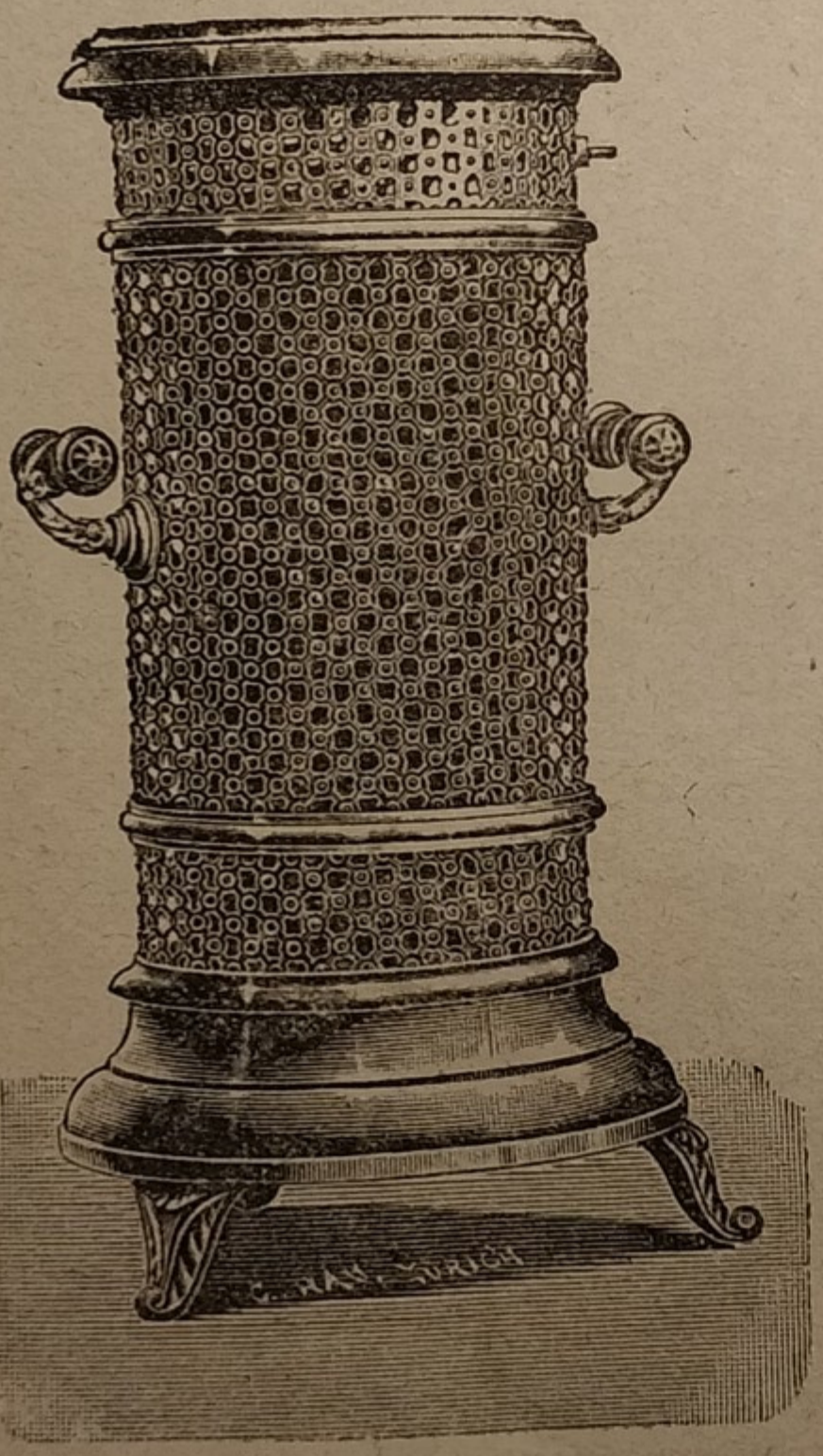


Fig. 63. — Vista esterna — Diametro: mm. 350 — Altezza: mm. 720 — Peso: 24 kg. circa — Consumo: 8-16-24-32 kilowatt.

Stufa per appartamenti (g. 60 e 61).

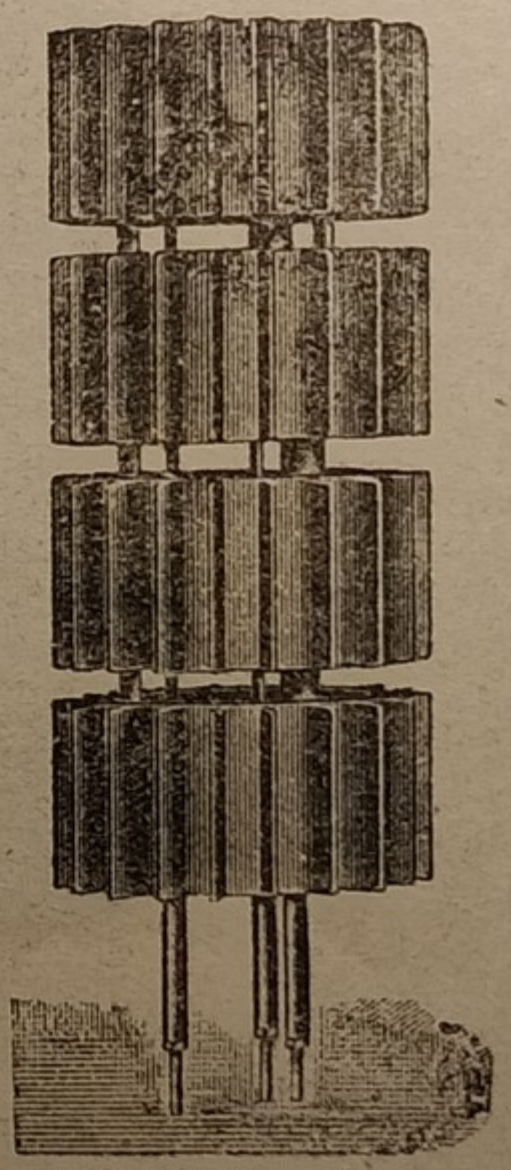


Fig. 64. — Corpo calorifico costituito da quattro elementi tondi ad alette.

avvolti da smalto sono circondati da un po' di spazio libero, che permette ad essi di espandersi e restringersi indipendentemente

dalla loro custodia. Le fig. da 57 a 60 porgono alcuni esempi degli elementi elettrotermici così costituiti, mentre le fig. da 61 a 64 rappresentano parecchie stufe a cui questi vennero applicati.

Lo stesso scopo si raggiunge pure impiegando in luogo dell'amianto delle piccole perle di vetro, che si infilano sui con-

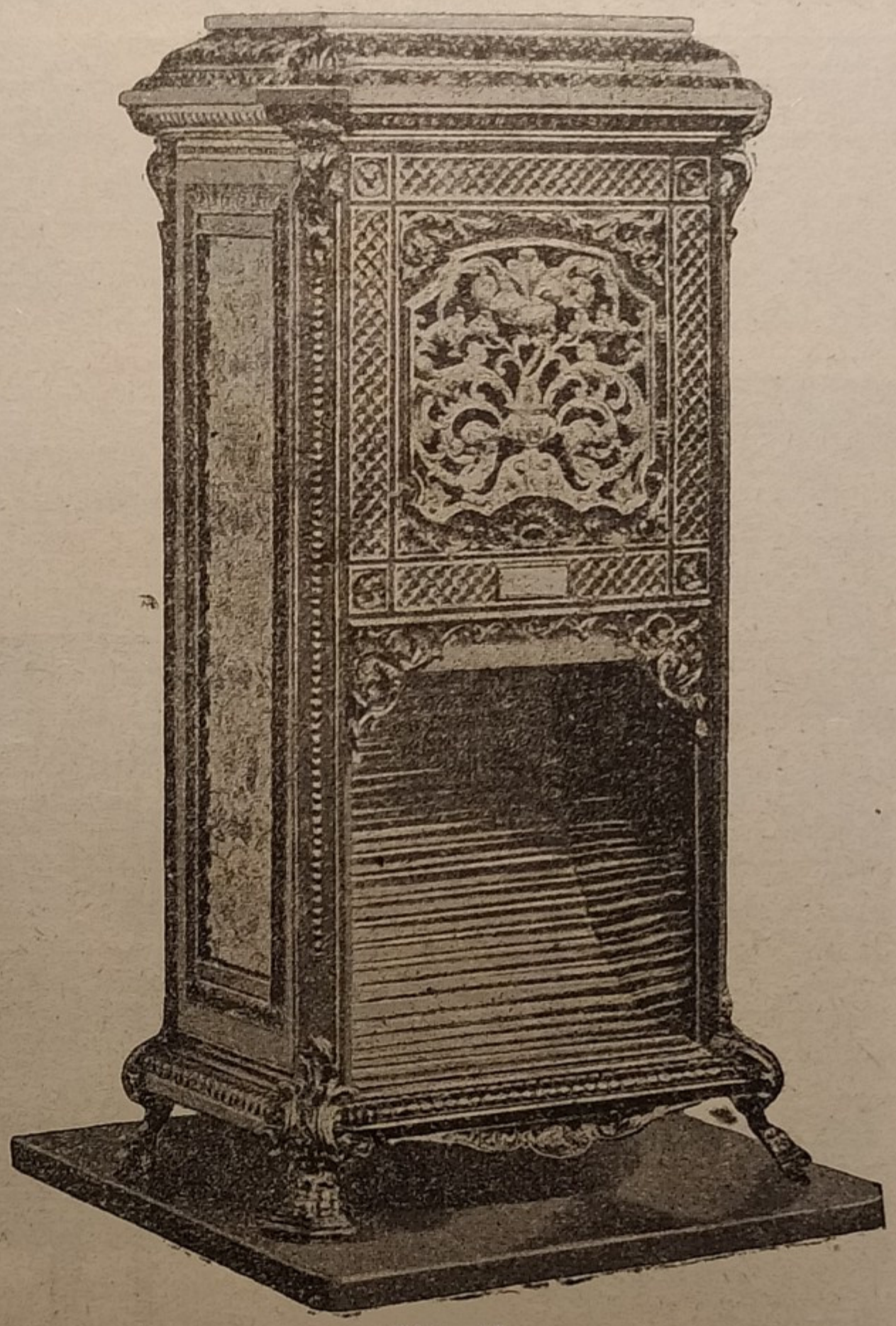


Fig. 65.

duttori elettrici in numero sufficiente per ricoprirli completamente. I conduttori così protetti vengono disposti sulle piastre di trasmissione del calore ed ivi sommersi in uno strato uniforme di smalto isolante. Nelle fig. 65 a 67 veggonsi alcune eleganti stufe munite di questi elementi riscaldanti.

Talvolta, anziché su piastre, i conduttori rivestiti di perle e il relativo strato di smalto sono disposti sulla superficie esterna di tubi metallici, nel cui interno circola l'aria da riscaldare, come indicano le figure 68 a 71.

Fra questi apparecchi possono pure essere classificate le buste di asbesto, contenenti dei tessuti termofili, delle quali si farà cenno nel successivo capitolo.

Aggiungeremo infine che per preservare completamente dal-

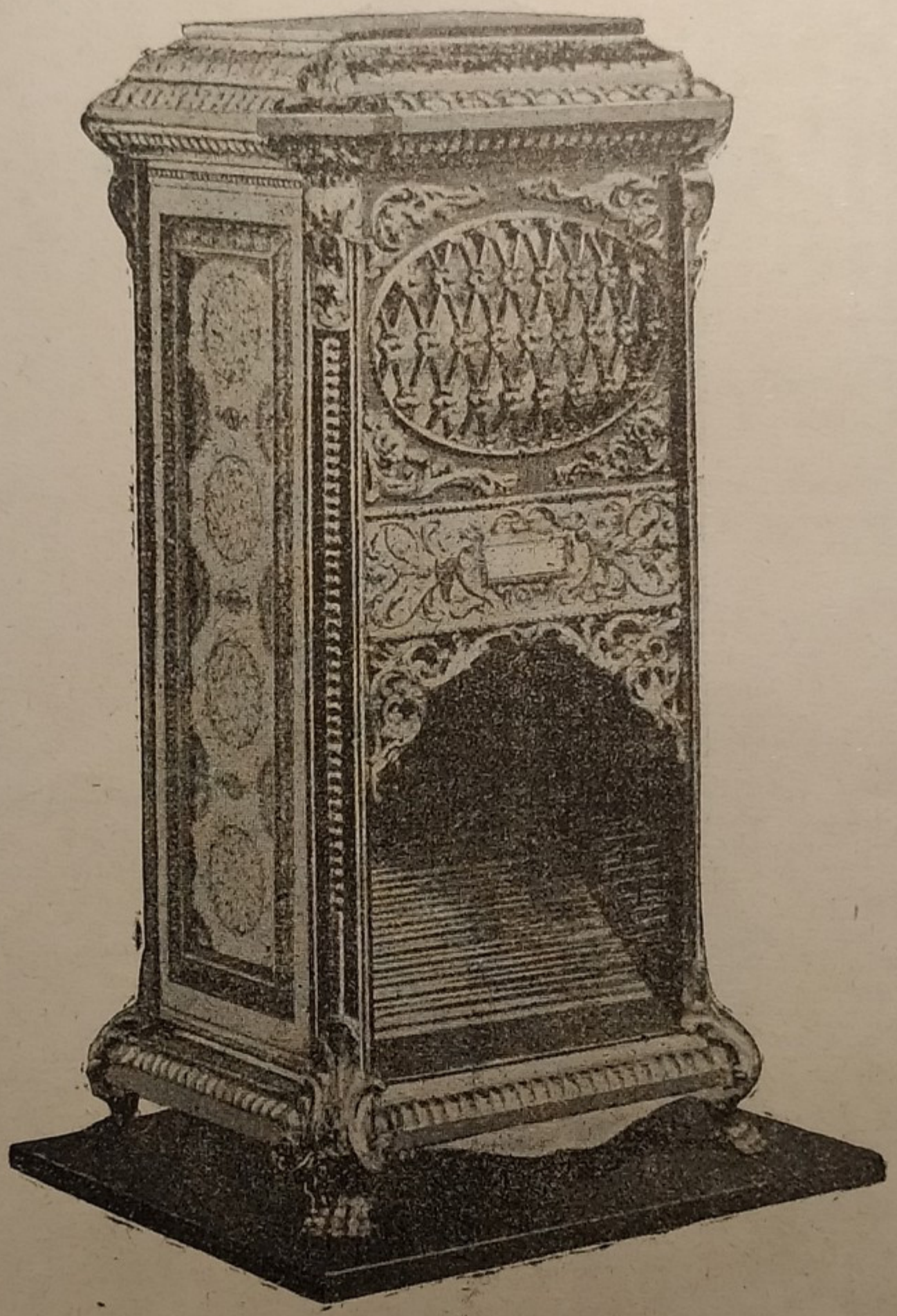


Fig. 66.

Fig. 65 e 66. — Stufe (da 75 e 90 ampère sotto 110 volta) in maiolica con decorazioni in nichelio. Nell'interno sono situate delle lampade ad incandescenza con ampolle rosse che dànno l'illusione del fuoco vivo.

l'ossidazione le resistenze metalliche che non portano aderente un involucro isolante perfettamente ermetico, si è anche ricorso all'estrazione dell'aria dalle capacità in cui sono riposte ed alla sostituzione ad essa di idrogeno, ma il procedimento è costoso e sproporzionato al vantaggio che permette di raggiungere.

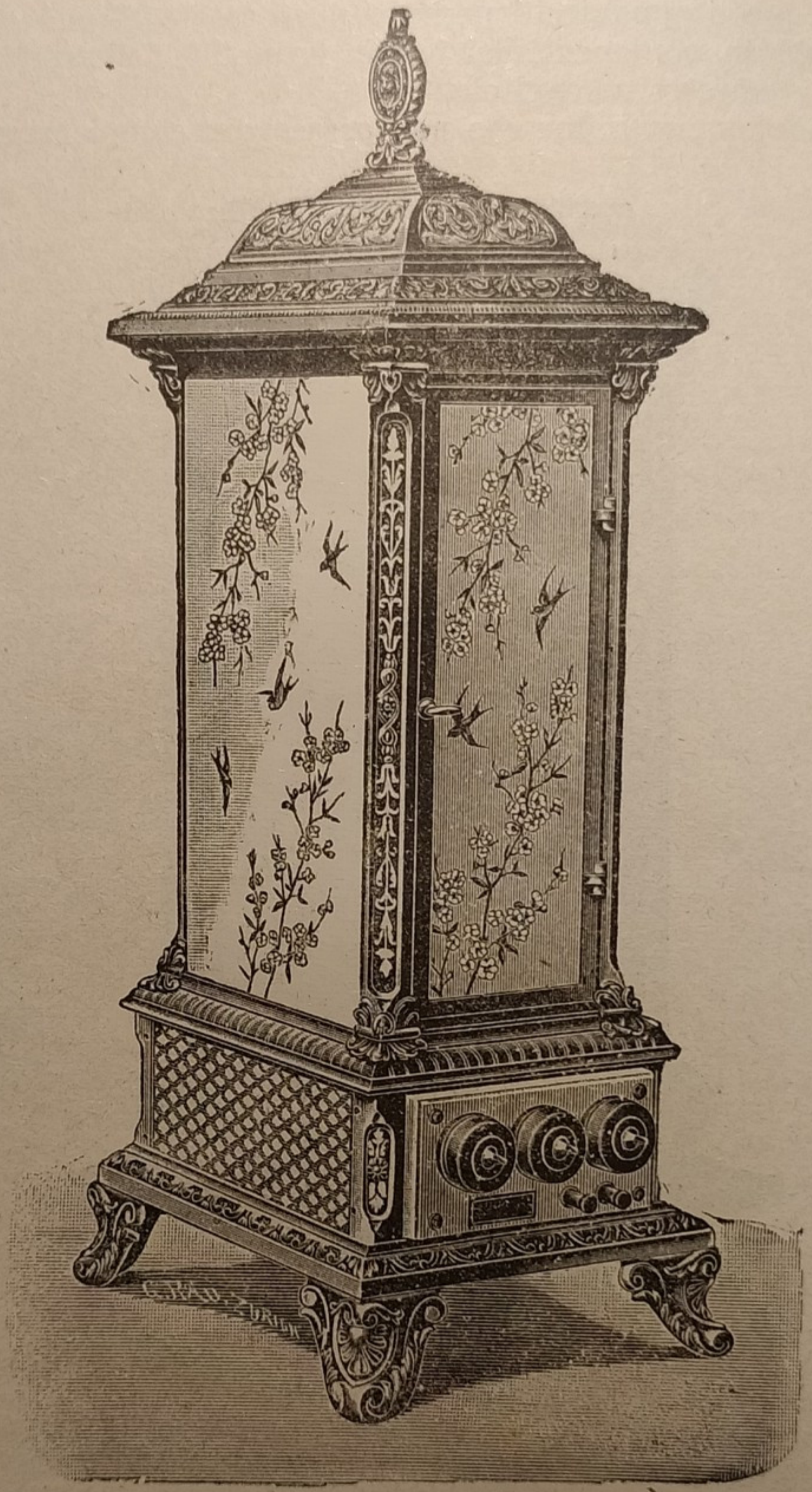


Fig. 67. — Stufa elegante di grande potenza per appartamenti — Dimensioni: mm. 570 per 400 per 1250 — Peso: 80 chg. circa — Consumo: da 8 a 24 chilowatt con cinque regolazioni.

Gli elementi in numero di 7 sono disposti nello zoccolo della stufa e possono esservi introdotti e tolti con facilità a mo' di cassetti. La capacità superiore della stufa è libera e può servire per riscaldare liquidi o vivande.

Fig. 68 a 71 — Stufa tubulare.

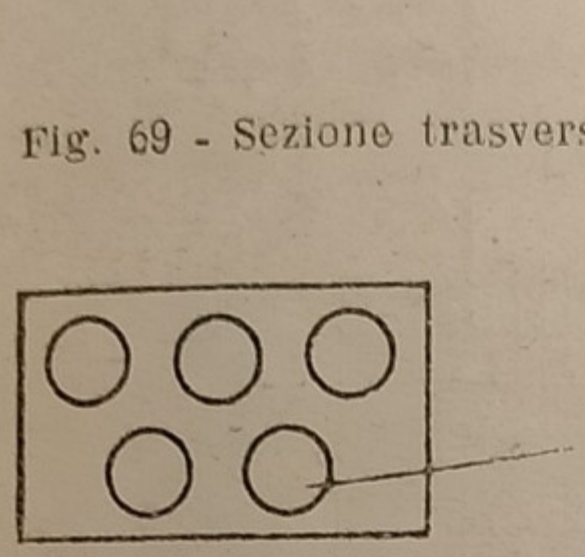


Fig. 69 - Sezione trasversale della stufa

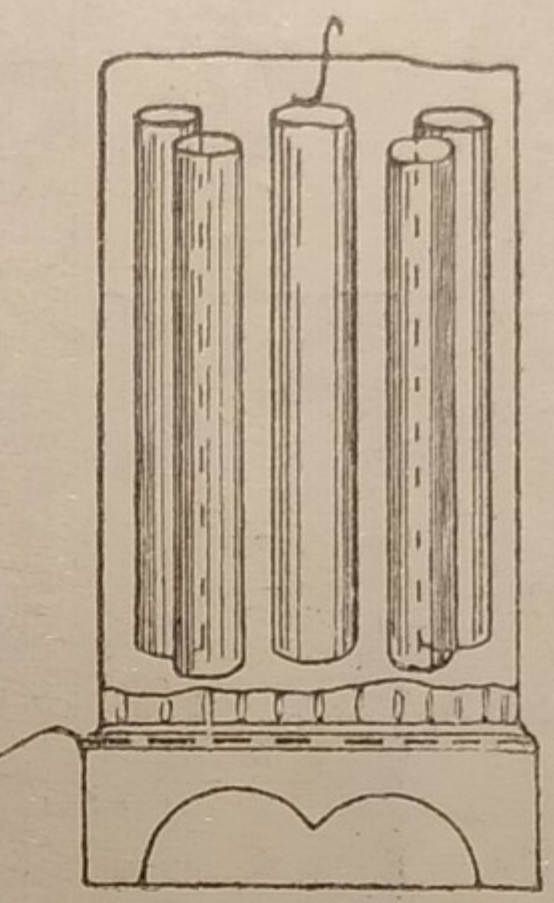


Fig. 68 Elevazione della stufa.

Fig 70 e 71. — Particolari dei tubi riscaldanti

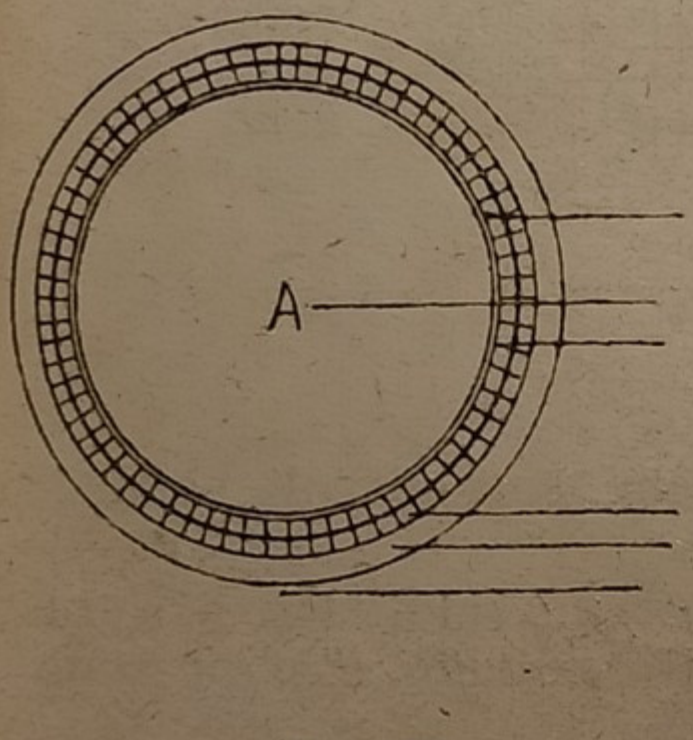


Fig. 70.
Sezione trasversale.

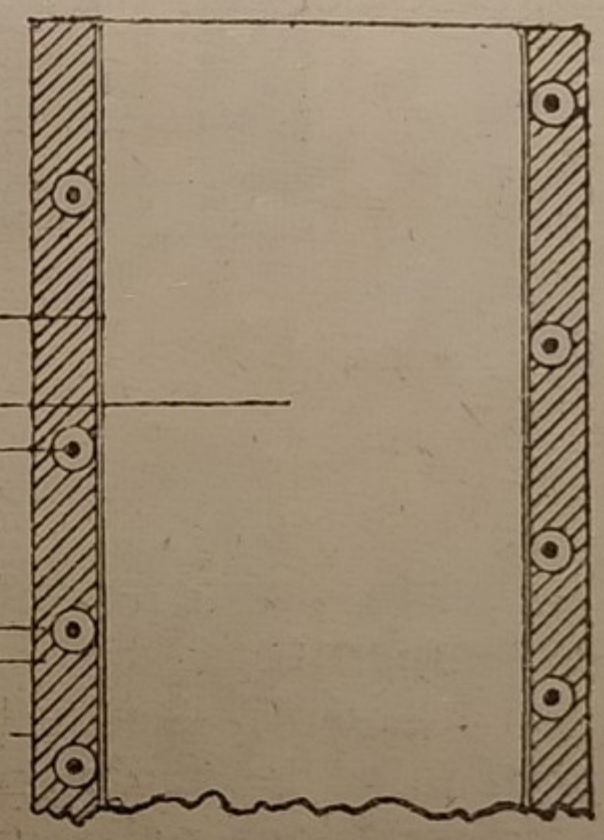


Fig. 71.
Sezione secondo l'asse.

Tessuti termofili.

I fili riscaldanti isolati possono pure essere disposti sopra od entro a tessuti di varia natura, i quali formino degli arazzi, dei broccati, dei paludamenti, dei paraventi, degli schermi, dei tappeti, delle tende o simili, e fare anche parte integrante di essi. Nel primo caso tali fili cedono il calore in parte direttamente e in parte a mezzo dei tessuti all'aria; nei due altri casi questo viene sempre distribuito ad essa dai tessuti. Assegnando a questi delle grandi superfici, si potrà ottenere un riscalda-

ohm.

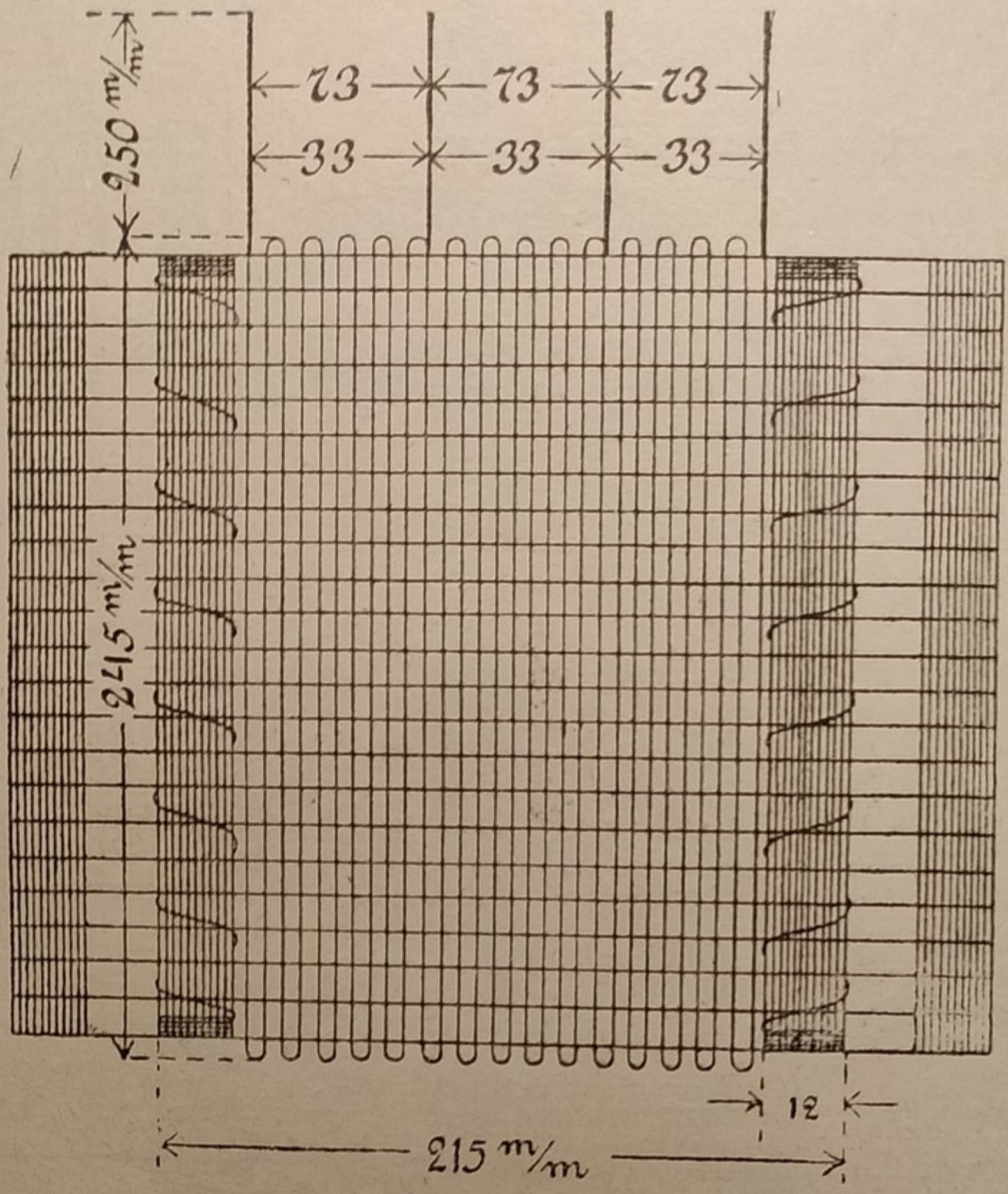


Fig. 72

mento uniforme in tutto l'ambiente anche con piccoli salti di temperatura.

I tessuti destinati ad assorbire dell'energia elettrica e a restituire in sua vece del calore sono detti *termofili* e si possono classificare nelle seguenti tre categorie:

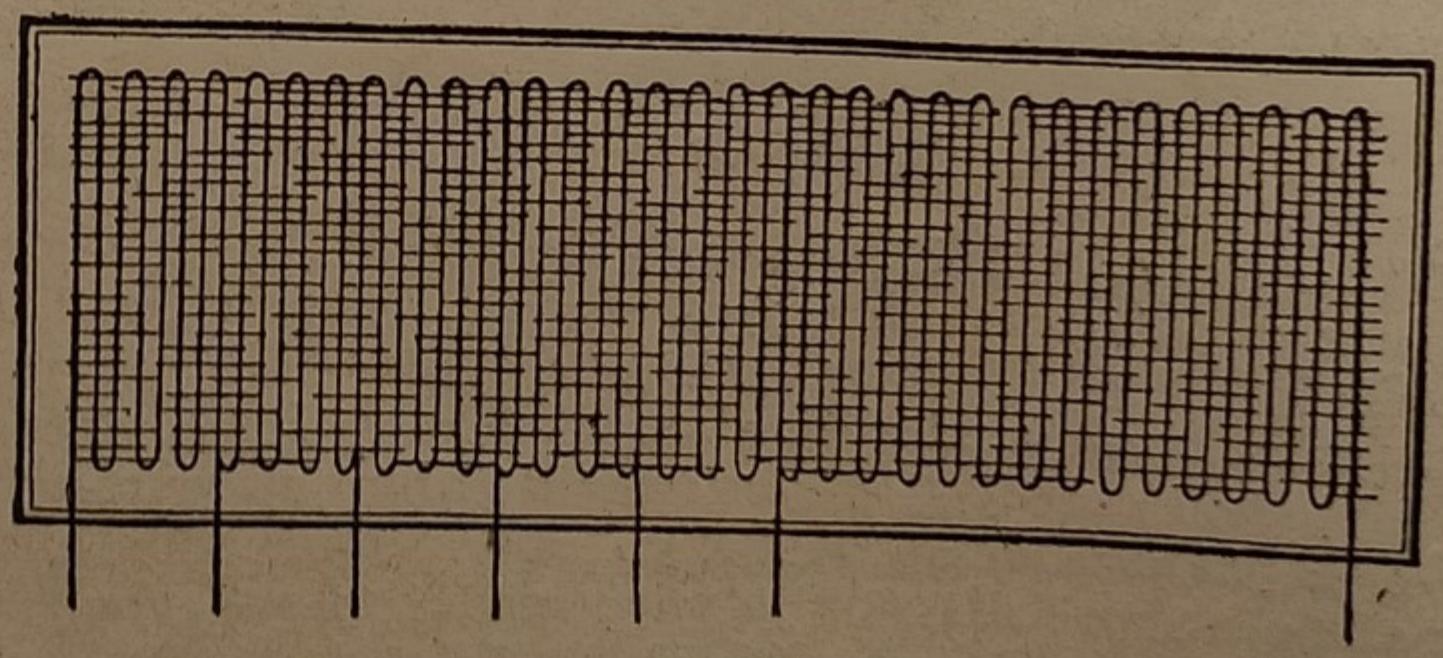


Fig. 73.

1.° Tessuti comuni più o mèno consistenti sui quali, esternamente, sono fissate mediante cucitura delle resistenze metalliche isolate con amianto o asbesto e avvolte a spirale sopra un'anima di amianto o di asbesto. Possono sopportare temperature da 100° C. a 200° C. La loro rigidità permette di applicarvi dei piccoli interruttori, basati sulla differente dilatazione

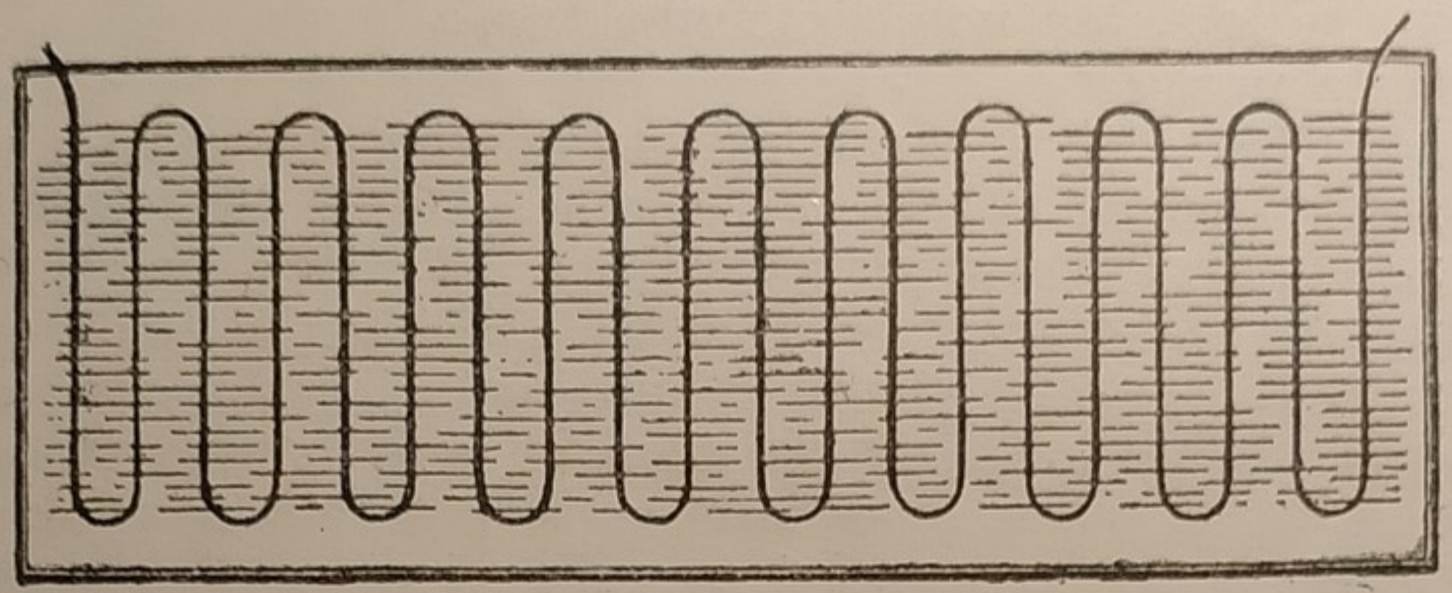


Fig. 74.

Fig. 72 a 74 — Particolari dei tessuti termofili costituiti da fili metallici e di asbesto.

di due lamine metalliche, per impedirvi la circolazione di correnti troppo intense.

2.° Tessuti speciali per alte temperature, sino a 600° C., formati da fili generalmente di ferro al nichelio intessuti con dei fili d'amianto o di asbesto e costituenti un insieme rigido, che si dispongono in quadri metallici entro a schermi di metallo tra-

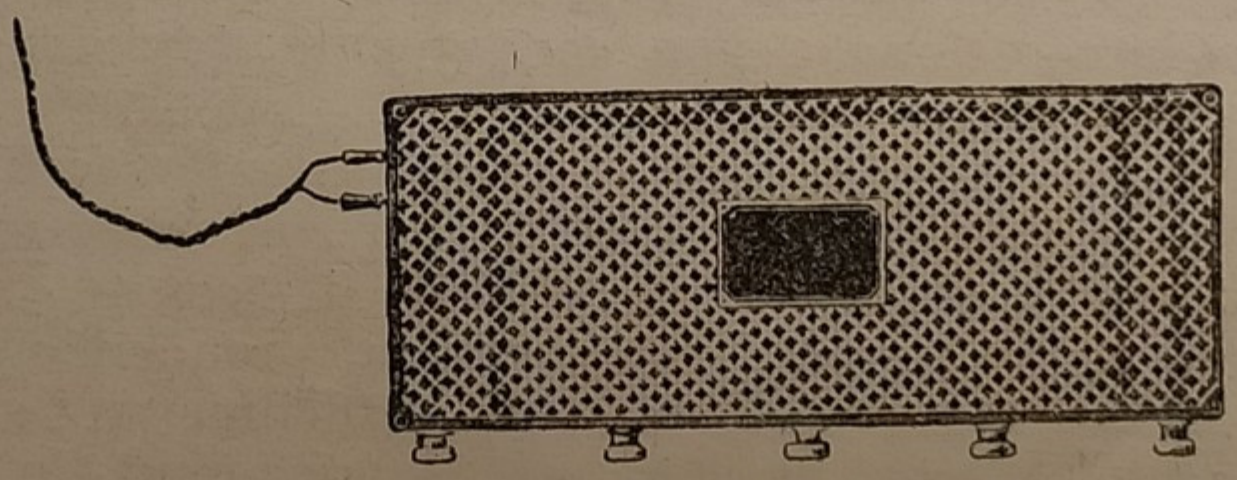


Fig. 75. — Busta d'asbesto racchiudente un tessuto termofilo.

forati ovvero di tessuto di amianto o di asbesto perchè siano inacessibili.

3.° Tessuti per basse temperature aventi l'apparenza e la morbidezza e pieghevolezza dei tessuti comuni, e nei quali vennero incorporati all' atto della tessitura dei finissimi fili elettrotermici. Per superare le difficoltà inerenti alla tessitura meccanica di questi fili, che tendono facilmente a deformarsi e a rompersi, se ne formano tanti fasci che si avvolgono rispettivamente ad elica sopra anime tessili ricoprendoli poscia con una leggera guaina costituita, come le anime, dello stesso tessile che concorre a formare i tessuti. Le

anime resistono alla trazione, le spirali metalliche non sopportano sforzi meccanici e consentono una grande morbidezza e pieghevolezza, mentre le guaine vi impediscono le deformazioni durante i trattamenti richiesti dalla tessitura meccanica. Questi fili formano generalmente la trama dei tessuti, di cui l'ordito è costituito da fili della stessa sostanza tessile delle anzidette anime, ma non giungono sino alle cimosse.

Queste non sono riscaldanti ma servono soltanto a preservare i fili elettrotermici e racchiudono dei fili conduttori che trasmettono la corrente ai primi. Anche i fili delle cimosse vengono applicati durante la tessitura. Vi è in generale un polo in ogni cimossa e le serie successive dei fili elettrotermici vi sono collegati in guisa che la coda di un circuito e la testa del successivo si trovano connessi insieme sullo stesso filo di una cimossa: in tal guisa la differenza di potenziale tra due serie consecutive di fili conduttori è nulla; inoltre il grandissimo numero e la lunghezza dei fili componenti un circuito permette di avere tra due fili vicini la differenza di tensione di una frazione di volta: viene così eliminata l'eventualità di corti circuiti. E invero questi tessuti si possono senza inconvenienti bagnare abbondantemente e essicare poscia facendovi circolare la corrente elettrica.

I fili elettrotermici essendo sottilissimi, anche del diametro di $^{15}/_{100}$ di millimetro, e numerosissimi offrono una grande superficie di trasmissione del calore relativamente al loro peso. Questi fili debbono essere inossidabili onde non distruggano i fili tessili e sopratutto perchè non subiscano una riduzione nella loro sezione e una conseguente elevazione di temperatura pregiudizievole al tessuto. E' opportuno che essi siano costituiti con un metallo avente un alto coefficiente di temperatura è cioè con un metallo la cui resistenza cresca rapidamente colla temperatura affinché il tessuto risulti autoregolatore della propria temperatura, rendendo superfluo l'impiego di regolatori rigidi che difficilmente si potrebbero adattare e dissimulare in un drappo morbido e soffice. Bisognerà avere l'avvertenza di non troppo piegare e ripiegare questi drappi termofili quando sono assoggettati alla tensione elettrica giacchè ciò facendo se ne eleverebbe la temperatura riducendone la superficie di raffreddamento.

L'amianto che serve ad isolare i conduttori viene talvolta impregnato di sostanze che ne attenuano la natura igroscopica e ne accrescono la resistenza all'isolamento. Il valore di questa resistenza può essere di 5 megaohm.

I tessuti termofili si fabbricano di ogni dimensione come i tessuti comuni, e come questi si possono tagliare in più pezze di svariate forme; effettuandosi il taglio nel mezzo di un circuito si possono ritrovare i fili delle cimosse per alimentare i circuiti così separati; solo il circuito sezionato non funziona più e costituisce il cappio.

E' evidentemente possibile di ottenere tutte le gradazioni richieste del riscaldamento mettendo uno o più fili in ogni cimossa in guisa da fare funzionare i diversi circuiti in serie, in parallelo o per gruppi a mezzo di un commutatore esterno.

Oltre ai drappi si fabbricano pure delle maglie idrofili; queste si ottengono allo stesso modo delle maglie comuni, impiegando esclusivamente del filo elettrotermico.

Consumi di energia elettrica relativi ad alcuni tessuti termofili nell'aria secca e calma per m² di superficie e per ogni grado cent. di temperatura superiore a quella ambiente.

Tappeti Gobelin orientali per uffici e sale da portarsi alla temperatura da 30 a 35° C. $^1/_8$ di ettowatt.

Tessuti doppi spessi nudi da portarsi alla temperatura da 25° C. a 30° C. $^1/_{10}$ di ettowatt.

Tessuti doppi idem rivestiti $^1/_{15}$ di ettowatt.

Tessuti semplici leggeri nudi da portarsi alla temperatura da 20° C. a 25° C. $^1/_{12}$ di ettowatt.

Idem Idem rivestiti idem $^1/_{20}$ di ettowatt.

Placche riscaldanti da portarsi alla temperatura da 60° a 75° C. ettowatt.

Assoggettando questi tessuti ad una tensione doppia di quella normale per la quale furono confezionati, vi si produce una temperatura quadrupla di quella che sono destinati comunemente a sopportare senza che si deteriorino anche se sono umidi.

Nella fabbricazione dei tessuti termofili si sono specializzati gli stabilimenti Herrgott di Valdoie (Belfort), Clémençon di Citè Fénelon e Schniewind di Neuenrade (Westfalia). Quest'ultimo, fornisce anche degli assortimenti di buste di asbesto (fig. 72 a 75) contenenti dei tessuti termofili come quelli della suaccennata 2ª categoria, le quali possono essere impiegate quali elementi riscaldanti nelle stufe.

Stufe costituite da lampade elettriche.

Delle speciali lampade elettriche, in particolare ad incandescenza, vengono pure impiegate pel riscaldamento, limitatamente però a piccoli ambienti ovvero a funzionamenti intermittenti.

Esse rispondono al desiderio da molti sentito di ripararsi dal freddo con mezzi che diano l'illusione del caminetto e della franklina: col calore luminoso o visibile, in una parola. Considerato che trasmettono il calore in gran parte per radiazione, spetta ad esse propriamente il nome di *radiatori termici*. In questi radiatori per la produzione del calore si utilizza una resistenza, la quale benchè non porti a sè aderente un involucro solido isolante non è nuda essendo racchiusa entro globi o ampolle di vetro o di cristallo.

Tale resistenza pei radiatori ad arco è formata dalle punte degli elettrodi, tra cui l'arco, sia continuo od alternativo, si svolge, e dalla materia incandescente che gli elettrodi si scambiano tra di essi e che costituiscono appunto il ponte od arco vaporoso e luminoso che li congiunge.

Se la corrente che genera l'arco è continua, gli elettrodi possono essere indifferentemente di carbone o metallici; se tale corrente è alternativa è preferibile che gli elettrodi non siano ambedue metallici; perchè l'arco facilmente persista bisogna che almeno uno di essi sia di carbone.

Quale è la cagione di ciò? Evidentemente la corrente alternativa deve annullarsi periodicamente. Orbene in causa della minore conduttività termica degli elettrodi di carbone e del flusso gassoso e vaporoso, costituente l'arco, che li collega, questo non ha tempo a raffreddarsi in guisa da estinguersi nel brevissimo tempo durante cui la corrente passa pel valore zero. Inoltre mentre i metalli (rame, zinco, platino) svolgono, volatizzando, soltanto i proprii vapori, il carbone bruciando genera una serie di gas che restano più a lungo conduttori dell'elettricità che non i vapori metallici, i quali ritornano rapidamente allo stato fisso. Infine l'ossidazione degli elettrodi metallici concorre pure ad ostacolare la persistenza dell'arco, mentre i prodotti dell'ossidazione degli elettrodi di carbone pel fatto che sono gassosi esercitano una lieve influenza antagonista. Se i due elettrodi sono uno metallico e l'altro di carbone, il relativo arco voltaico possiede in gran parte i caratteri di quello che si ottiene tra due elettrodi di carbone, ed esso come quest'ultimo persiste facilmente anche quando la corrente è alternativa.

Nelle lampade speciali ad arco pel riscaldamento, l'arco è prodotto tra una bacchetta di carbone ed un'asta generalmente di rame collegata ad una piastra che contribuisce a ripartire il calore. L'arco è racchiuso in un globo opalescente quasi ermetico (non del tutto ermetico per evitarne l'esplosione) onde si trovi in un gas poco ossidante e sia ridotto il consumo delle bacchette di carbone e di rame. Il modello ordinario di queste lampade è per la tensione di 110 volta, comprende due archi in serie e consuma 2 chilowatt.

I radiatori ad arco non hanno comuni tutti i pregi con gli altri apparecchi elettrici di riscaldamento, giacchè essi possono immettere nell'ambiente gli ossidi risultanti dalla combustione delle bacchette tra cui l'arco si produce.

I radiatori costituiti da lampade ad incandescenza possono essere di due sorta secondochè il loro filamento è nel vuoto pneumatico come nelle lampade ordinarie ovvero in un gas inerte o in un idrocarburo. Quelli della prima specie sono ormai abbandonati perchè meno efficienti agendo quasi soltanto per irradiazione, e non é il caso di parlarne.

I filamenti dei radiatori a incandescenza sono assai grossi affinchè assorbano potenze elettriche ragguardevoli rispetto al loro potere illuminante. Codesti filamenti sono generalmente di carbone e posti in ampolle cilindriche di 69 mm. di diametro e 250 mm. di lunghezza nelle quali, come si è accennato, viene introdotto un gas inerte o un idrocarburo. I radiatori a un filamento e a due filamenti, destinati a funzionare alla differenza di potenziale di 110 volta, assorbono rispettivamente 250 e 500 watt. Le ampolle sono disposte innanzi a riflettori di

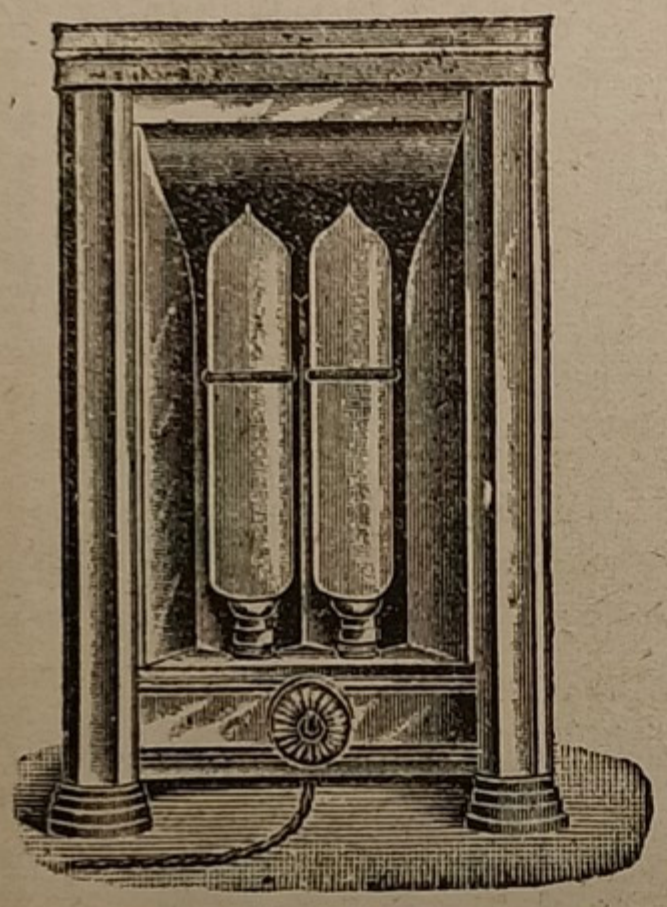


Fig. 76. — Radiatore costituito da due lampade parallele a incandescenza — Riflettore in rame — Con-

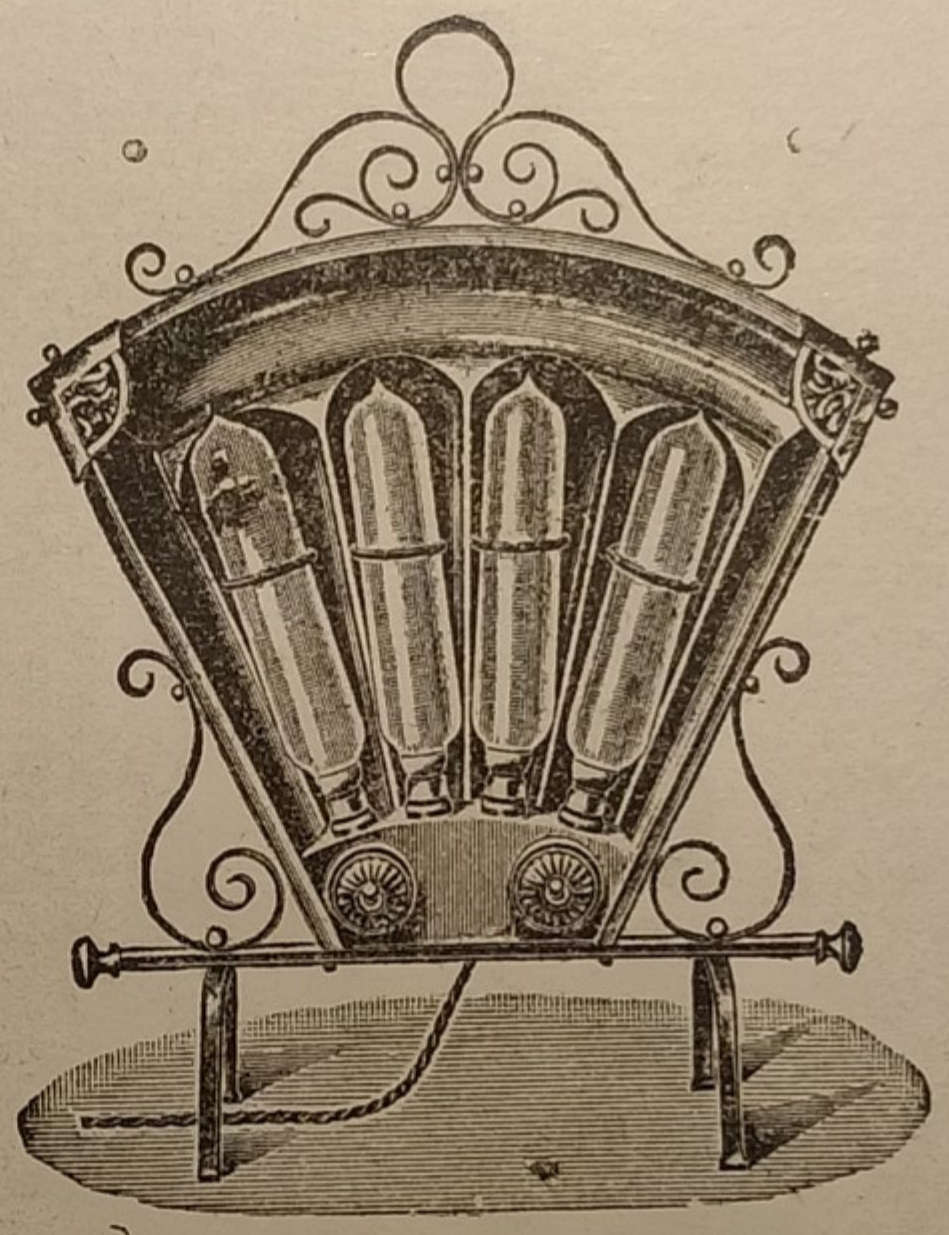


Fig. 77. — Radiatore costituito da 4 lampade ràdiali a incandescenza — Riflettore in rame e quadro in ottone — Altezza: 77 cent. — Larghezza: 59 cent. — Peso: 5 kg. — Consumo massimo: 2 kilowatt.

rame, che hanno lo scopo di dirigere il calore in una determinata direzione.

La resistività del filamento di carbone alla temperatura di 800° C., dato che occorre per poter progettare il radiatore a incandescenza, si potrà ritenere eguale a

$$\rho_o\,(1 - 800 \times 3{,}82 \times 10^{-4}),$$

essendo ρ_o il valore della resistività del filamento a 0° C.

Interessanti esperienze di L. Roy dimostrano che la resistenza del filamento di carbone delle lampade ad incandescenza decresce secondo una legge iperbolica col crescere dell'intensità della corrente che lo alimenta e che il coefficiente di emissione del calore cresce rapidamente colla temperatura.

I tipi più comuni dei radiatori ad incandescenza sono rappresentati dalle fig. da 76 a 78.

Come vedesi chiaramente nelle figure da 79 a 81, il loro riflettore è composto di due riflettori, uno di forma comune e uno a zig-zag, e le lampade termiche sono disposte in corrispondenza agli spigoli di quest'ultimo, mentre esso è addossato a una parete piana. Perché? Innanzi tutto perchè la maggior parte del

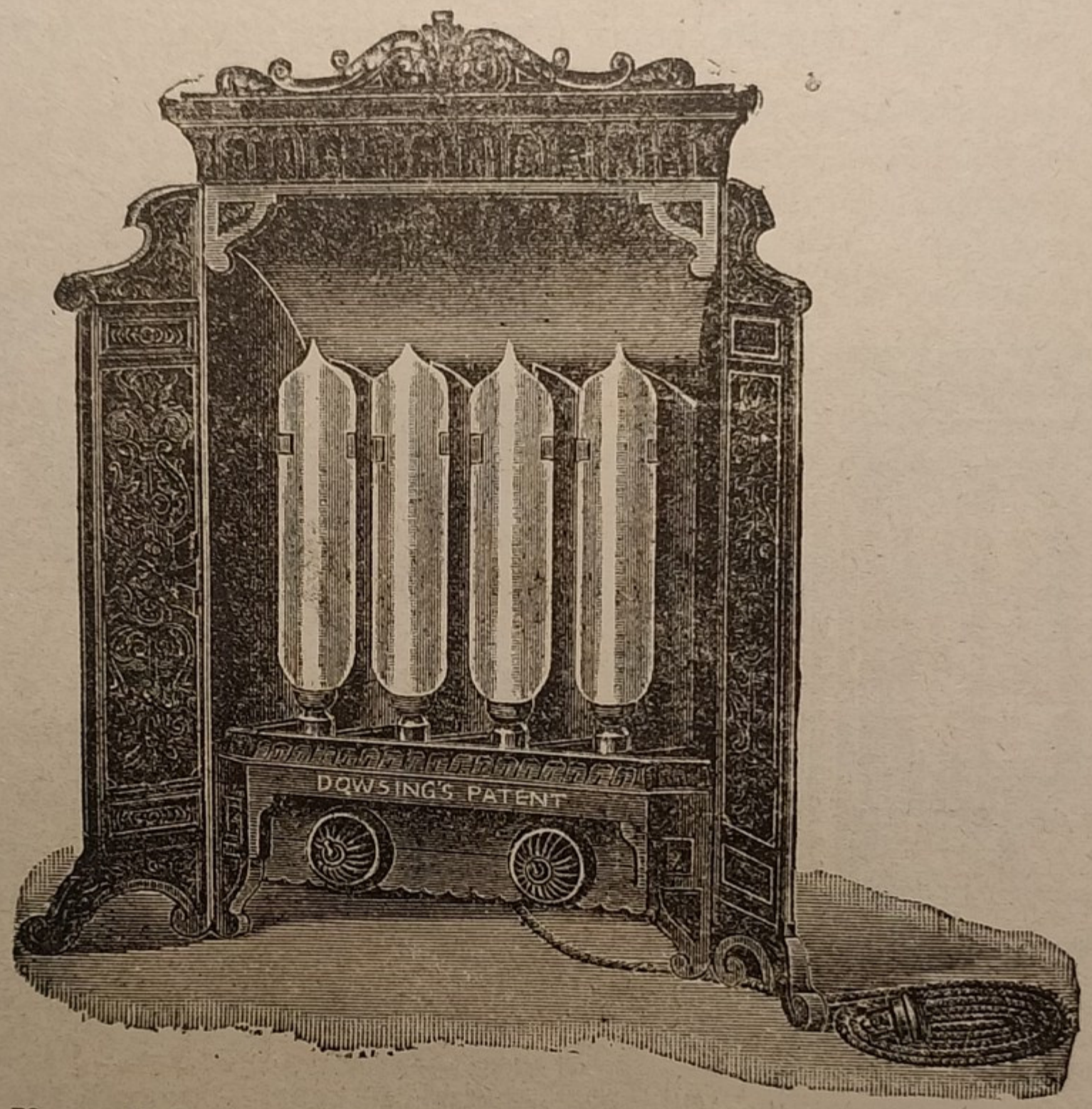


Fig. 78. — Fornello con quattro lampade verticali a incandescenza — Riflettore in ghisa smaltata — Porta-lampade in ghisa — Altezza: 75 centimetri — Larghezza: 67 centimetri — Peso: 16 kg. — Consumo massimo: 2 kilowatt.

calore da esso riflesso passi tra due lampade contigue e non ne scaldi soverchiamente le ampolle. Poi perchè permetta all'aria di entrare in cavità prismatiche triangolari situate dietro al secondo riflettore, di scaldarsi in contatto di questo e di uscire anteriormente all'apparecchio. Così questo cederà tutto il suo calore, sia per irradiazione come per contatto, dalla sua parte anteriore, la quale sarà diretta verso chi desidera di scaldarsi.

Perchè per le lampade termiche il filamento deve, come si disse, essere assai più grosso che per le lampade luminose? Perchè queste, dato che abbiano il filamento di carbone, alla temperatura

normale di 1800° centigradi circa consumando mediamente 3 watt per candela, se avessero anche solo la potenza di 1 kilowatt assumerebbero il potere illuminante, eccessivamente molesto, di 333 candele! Inoltre la loro vita risulterebbe assai breve.

Adottando invece pel filamento la temperatura di circa 800° centigradi si otterrà dai radiatori una luminosità ammissibile, e cioé di colore rossastro e non acciecante, mentre si prolungherà sino a 1500 ore la vita di essi.

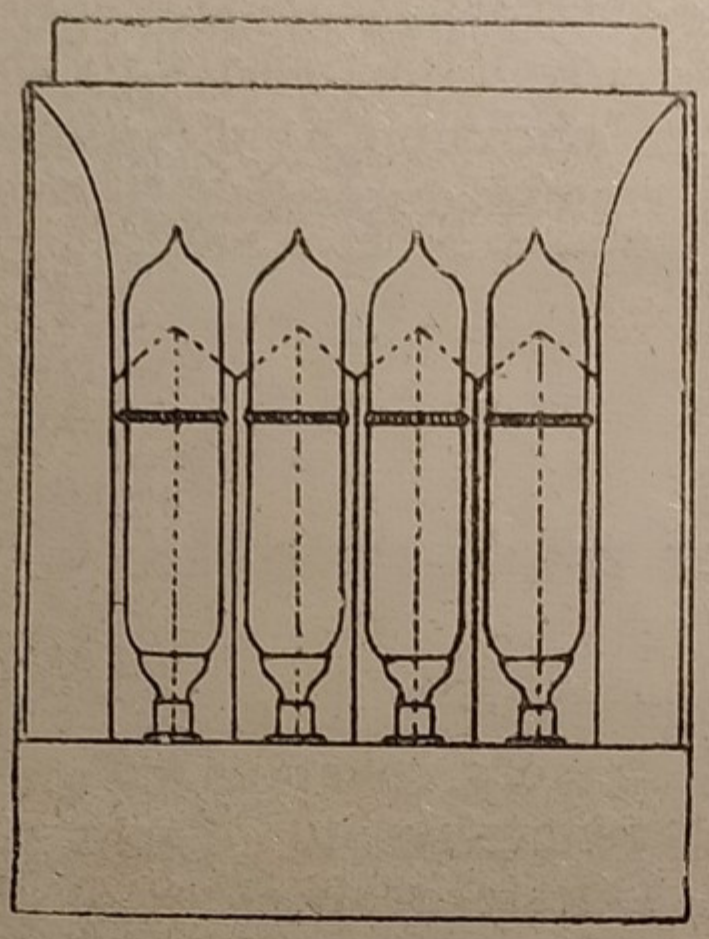


Fig. 79. — Fronte

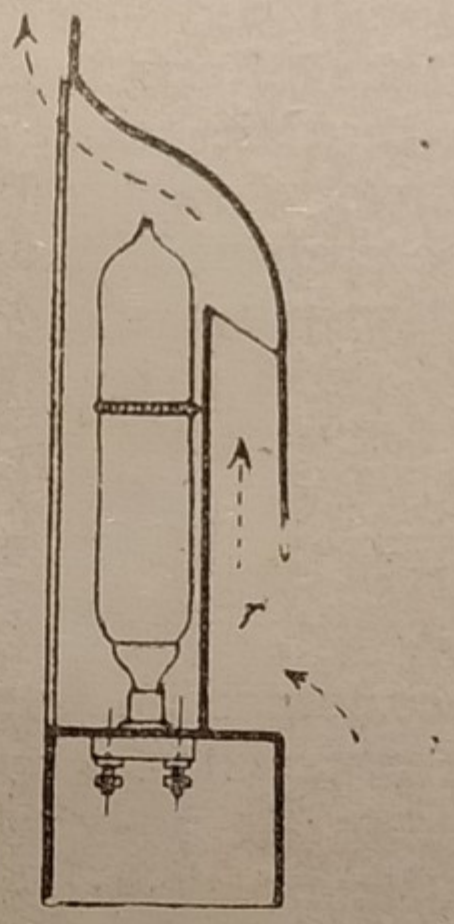


Fig. 80 — Sezione verticale

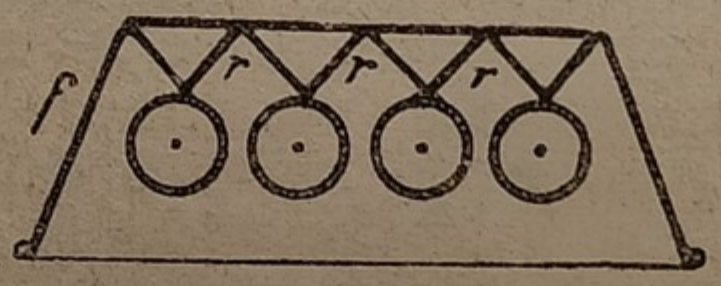


Fig. 81. — Sezione orizzontale.

Fig. 79 a 81 — Riflettore del calore
f - riflettore comune
r - riflettore a zig-zag

E' da notarsi che mentre la temperatura del filamento è di 800° centigradi, la temperatura delle ampolle di vetro in contatto coll'aria ambiente non oltrepasserà 100° centigradi. E così pure non oltrepasserà questo valore la temperatura dei globi degli irradiatori ad arco benchè la temperatura dei loro archi raggiunga anche 3000° centigradi.

La maggior parte del calore degli apparecchi sia ad arco che a incandescenza si dissemina, come si disse, per irradiazione, e secondo gli igienisti, il calore raggiante è preferibile a quello che ci è ceduto per contatto: è il calore paragonabile a quello

del sole, che ci riscalda e ci fortifica in un ambiente freddo, in vicinanza anche ai ghiacciai e alle nevi perpetue.

Oltre la stufa che fornisce calore a mezzo dell'irradiazione ci fa sentire subito, non appena la si fa agire, il suo effetto riscaldante. Perciò essa è assai adatta per riscaldamenti intermittenti, complementari e accidentali, dei quali si sente talvolta il bisogno anche in ambienti riscaldati.

Aggiungeremo a questo proposito che in parecchi alberghi americani si adottarono in aggiunta all'impianto centrale di riscaldamento a vapore che era soltanto in condizione di combattere i freddi non molto intensi, dei radiatori costituiti da lampade a incandescenza della potenza ciascuno di un chilowatt per coadiuvarvi il riscaldamento a vapore durante i freddi rigidissimi e sostituirlo invece completamente durante le giornate fredde di primavera e di autunno.

Stufe con resistenze metallo-ceramiche.

Si costruiscono pure apparecchi elettrici di riscaldamento nei quali le resistenze ove svolgesi il calore constano di un impasto composto di polvere metallica, generalmente di nichelio, e di sostanze isolanti e refrattarie. Queste resistenze si ottengono foggiando una miscela di detta polvere con dell'argilla refrattaria sotto la forma di barre tonde o parallelepipede, piastre, tavolette, ecc., entro stampi, sotto fortissima pressione e assoggettandole ad altissima temperatura, da 1200° a 1500° centigradi, in guisa che assumano una grande solidità.

La polvere metallica essendo rivestita dalla pasta isolante, non è soggetta all'azione dell'aria, talchè le resistenze possono essere portate a mezzo della corrente all'incandescenza nell'aria libera senza che si deteriorino.

In causa dell'alta resistività e della refrattarietà del materiale costituente le resistenze, queste possono essere grosse, larghe e corte.

La resistività delle resistenze metalloceramiche varia naturalmente colla loro composizione e col loro stato e cioè colla natura e colla proporzione del metallo contenuto nello smalto, colla natura di questo e colla pressione e grado di cottura a cui furono sottoposte Una tavoletta prismatica di millimetri 50 per 10 per 3 può presentare la resistenza di 100 ohm. Disposte in un focolare e portate all'incandescenza, codeste resistenze possono simulare la brace.

Nelle figure da 82 a 84 veggonsi alcune di queste stufe di bello effetto estetico costrutte dallo stabilimento Parvillié di Parigi pel riscaldamento degli appartamenti. Le fig. 85 e 86 mo-

strano l'applicazione di scaldini, formati analogamente, al riscaldamento delle vetture per ferrovie e tramvie.

In questo sistema le piastre destinate a cedere il calore all'aria ambiente sono, al pari di quelle del sistema esaminato al paragrafo a pag. 73, costituite da sostanza silicea e da metallo: ma mentre nelle piastre di questo ultimo sistema il

Fig. 82. — Focone in ferro e rame — Altezza: m. 0,80 - Diam. m. 0.46 — Consumo: 12 ampère sotto 110 volta — Produzione: circa 1140 calorie all'ora.

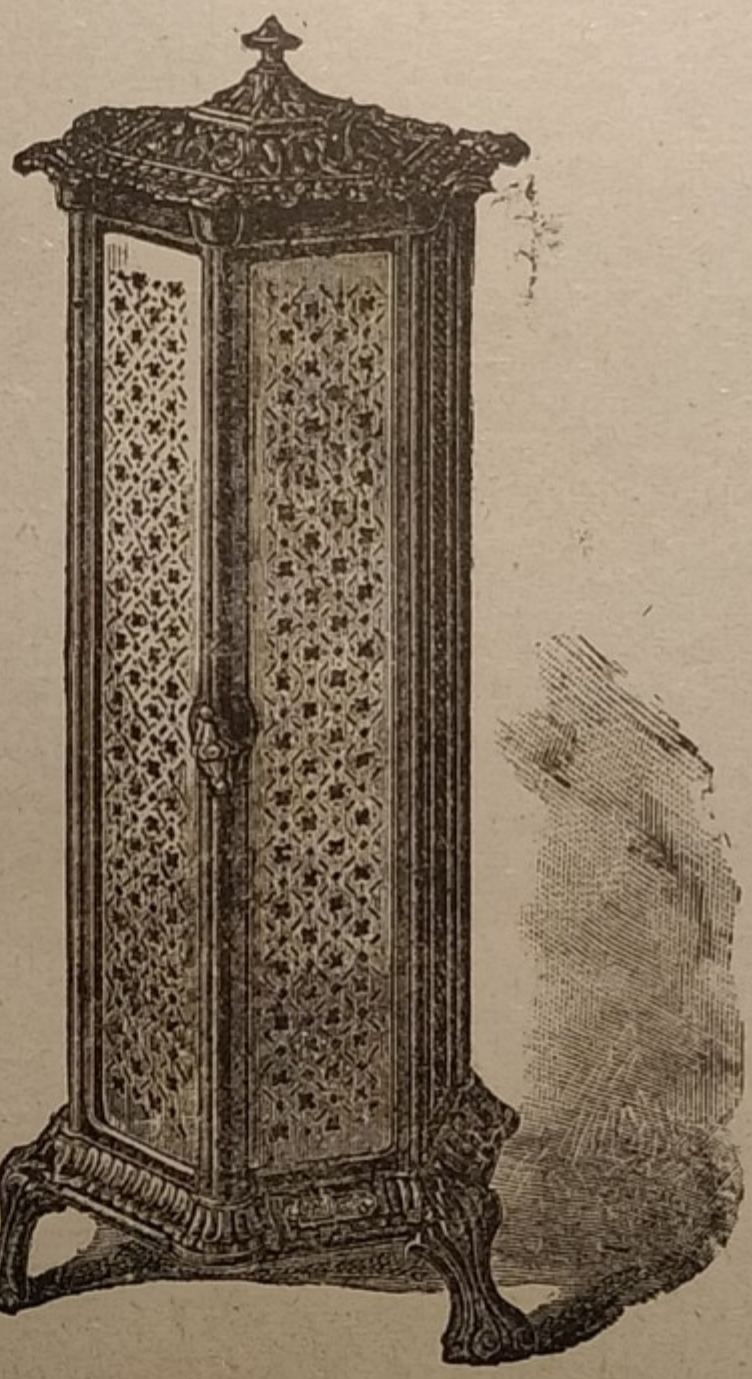


Fig. 83. — Stufa in ghisa smaltata verde-bronzo con pannello in rame — Consumo: 12 ampère sotto 110 volta — Produzione: 1170 calorie circa all'ora.

metallo conduttivo dell'elettricità è distinto dalla sostanza silicea ed esso solo è percorso dalla corrente ed in esso solo si genera l'energia termica, nella sostanza silicea passando soltanto il calore che fluisce all'esterno; invece nelle piastre del primo sistema il metallo è uniformemente diffuso in tutta la loro massa ed in ogni parte di esse circola e genera del calore la corrente elettrica.

Come si rileverà, il sistema metalloceramico ha delle affinità col sistema Kryptol, (V. pag. 101).

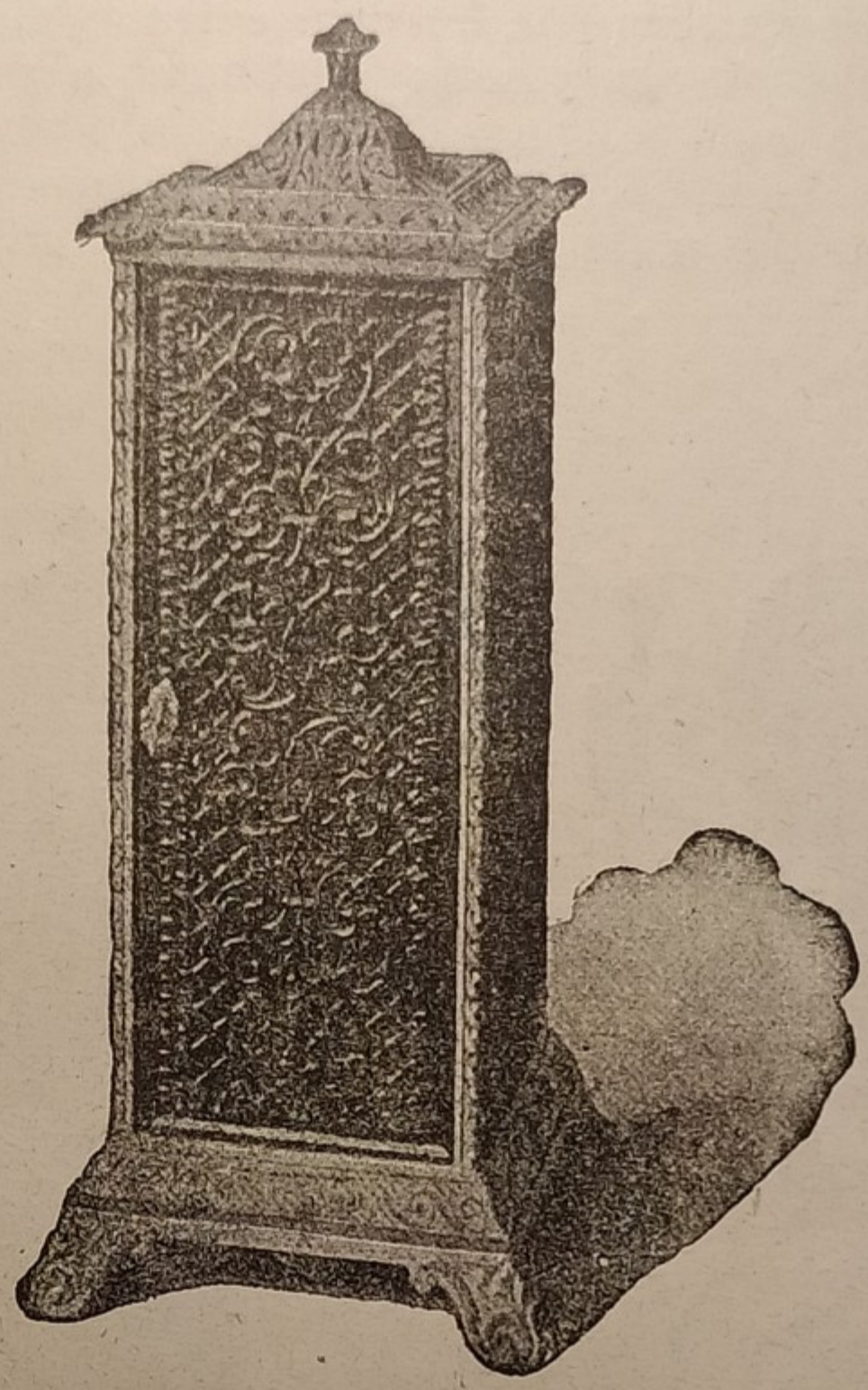


Fig. 84. — Stufa in ghisa smaltata verde bronzo con coronamenti nichelati — Consumo: 24 ampère sotto 110 volta — Produzione: 2250 calorie all'ora circa.

Fig. 85 e 86. — Vettura della ferrovia elettrica da Parigi a Versaglia.

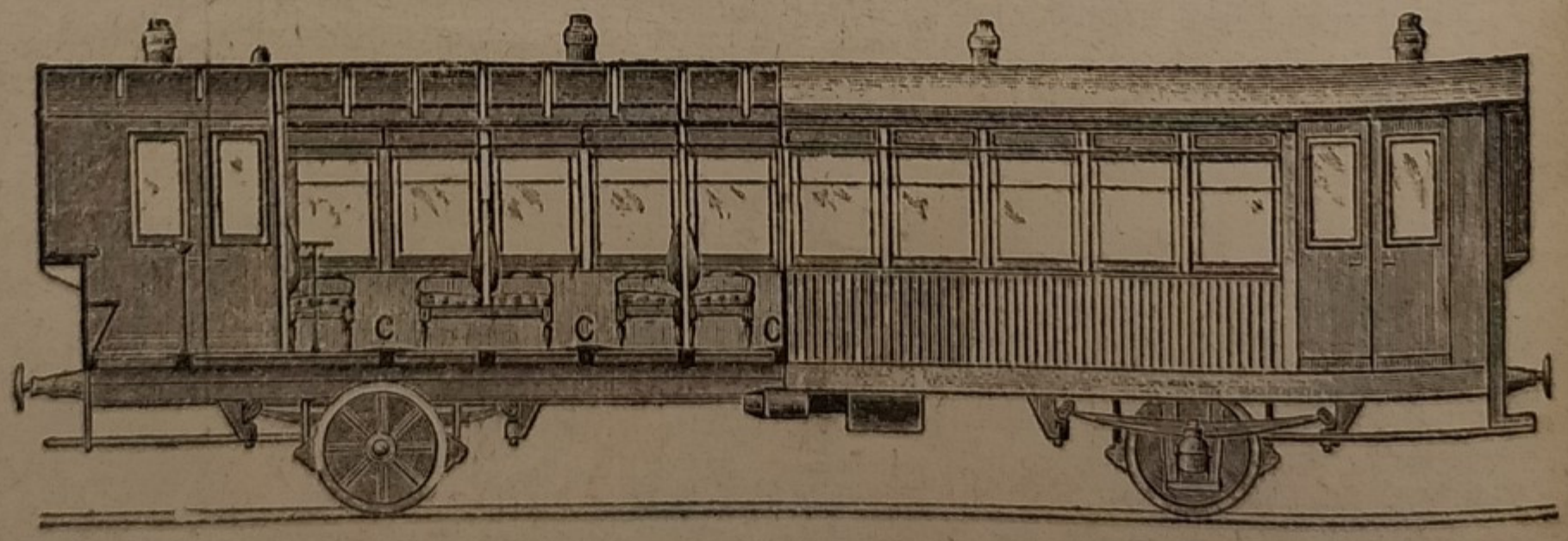


Fig. 85. — Vista esterna e sezione longitudinale

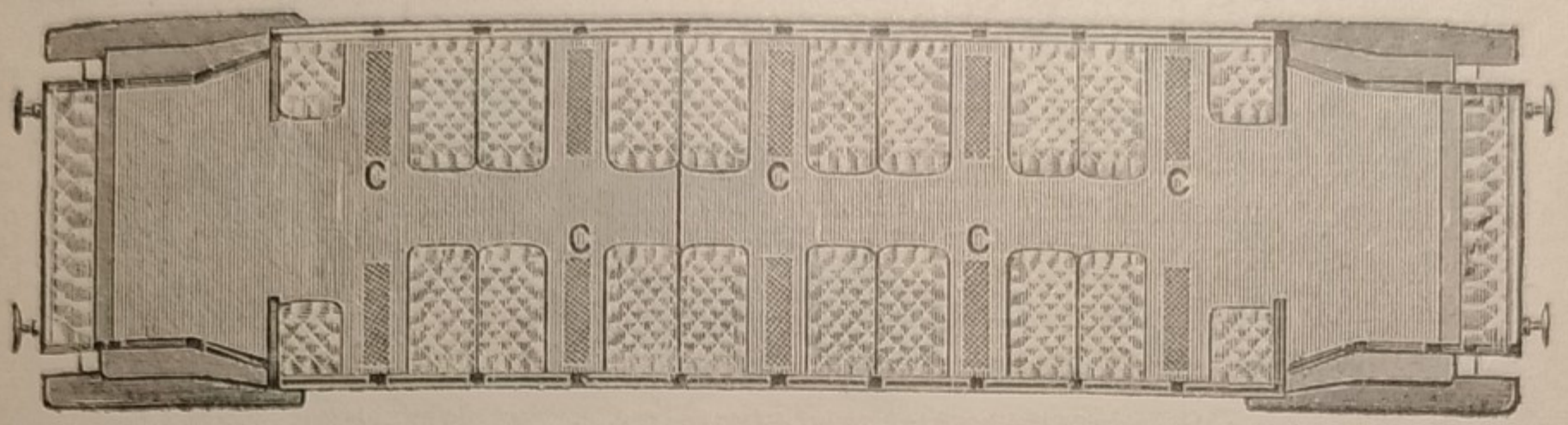


Fig. 86 — Sezione orizzontale.

C — scaldini metallo-ceramici disposti sul pavimento.

L'equipaggiamento pel riscaldamento comprende due serie ciascuna di 5 scaldini lunghi 80 cent. e larghi 14 cent. Ogni serie consuma 1 ampère sotto 550 volta. La temperatura degli scaldini è di circa 70° C.

Stufe con resistenze in silicio:

Nelle stufe di Le Roy il calore si svolge in resistenze di silicio cristallizzato o grafitoide agglomerato, nude in alcune di esse ed in altre racchiuse in ampolle o tubi di vetro o di cristallo privi d'aria a mò dei filamenti della lampada ad incandescenza. La resistività del silicio è assai ragguardevole, e benchè essa, come quella del carbone, diminuisca col crescere della temperatura, tuttavia è sempre elevata.

Le resistenze nude adottate da Le Roy hanno la forma di tavolette di millimetri 100 × 10 × 5. A seconda del loro modo di preparazione (e cioè della polverizzazione, compressione e cottura) la loro resistenza a freddo può variare da $^1/_{10}$ di ohm a 100 ohm. Esse sono montate sopra telai rettangolari o circolari. Ai loro capi sono metallizzate, perchè facciano un buon contatto colle pinzette metalliche che ivi le trattengono e le collegano col circuito elettrico.

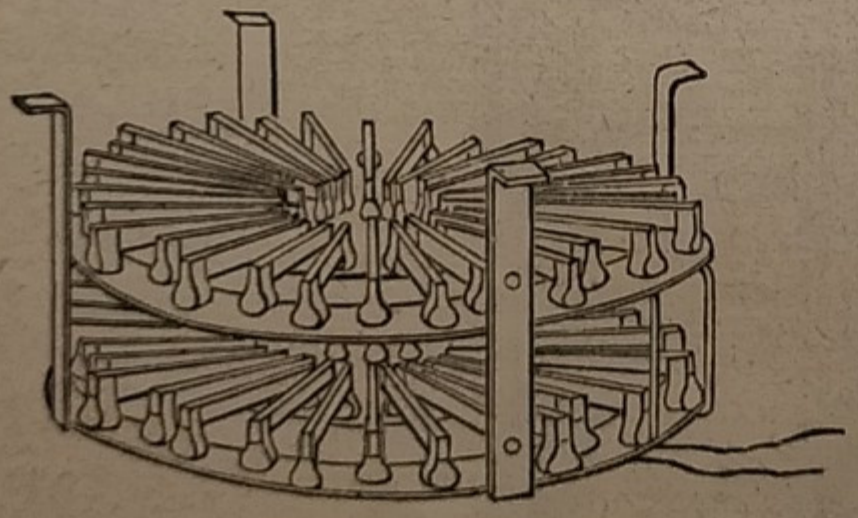


Fig. 87. — Calorifero con resistenze in silicio nude.

La fig. 87 rappresenta due corone di tavolette di silicio nude che possono essere poste entro una stufa ordinaria in luogo del ceneratoio. Esse sono collegate in quantità per la tensione di 110 volta e assorbono complessivamente 2 kilowatt. Il calore è dalle stesse trasmesso all'ambiente per convessione e in piccola parte anche per irradiazione.

Le altre resistenze, quelle racchiuse nei tubi o nelle ampolle

(fig. 88 e 89), hanno la stessa forma e press'a poco le stesse dimensioni di quelle nude. Esse sono destinate ad essere soggette ad altissima temperatura, affinchè, disponendole acconciamente, possano simulare i tizzoni ardenti di un ordinario caminetto, i quali, pel loro effetto suggestivo, sono da taluno tanto graditi. E' appunto per le alte temperature assunte dalle tavolette resistenti che nelle ampolle, che servono loro di custodia, devesi ottenere il perfetto vuoto pneumatico onde evitarne l'ossidazione,

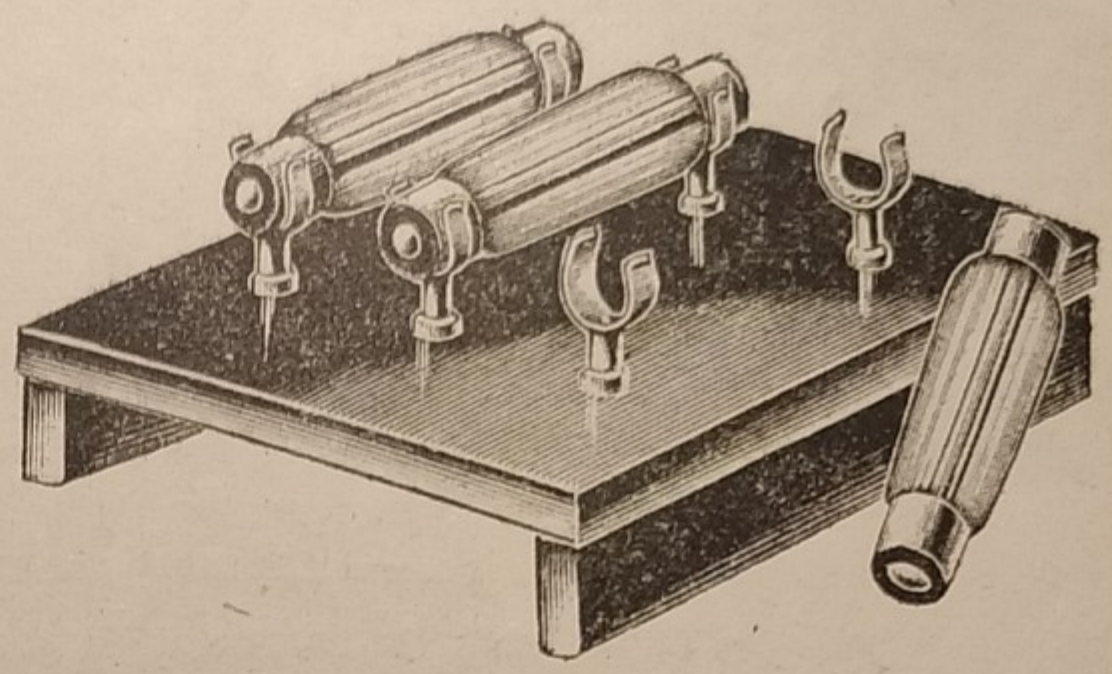


Fig. 88. — Stufa con resistenze in silicio racchiuse in ampolle prive d'aria.

Fig. 89. — Altro tipo di stufa con resistenze in silicio nel vuoto.

la quale avrebbe per effetto di accrescerne enormemente la resistività rendendole inservibili. La trasmissione del calore vi avviene come dalle lampade elettrotermiche ad incandescenza delle quali si è discorso a pag. 93.

Stufe con resistenze costituite da miscugli granulosi.

Si è anche usato come resistenza destinata a fornire del calore al passaggio della corrente un miscuglio costituito da granuli di forma lenticolare o sferica, del diametro da mm. 0,5 a 1,5, di carbone, carborundum, silicati, sali tungstati, grafite aggromerata e metalli, al quale miscuglio si diede il nome di *Kryptol* (dal greco « mi nascondo »). Questo miscuglio viene posto nella capacità o entro intercapedini di appositi recipienti in metallo rivestito da sostanza refrattaria o semplicemente in sostanza

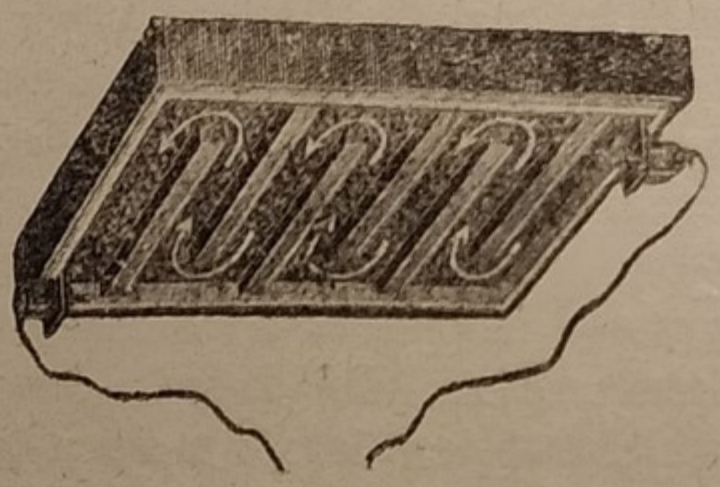


Fig. 90.
Cofanetto riscaldante **Kryptol**.

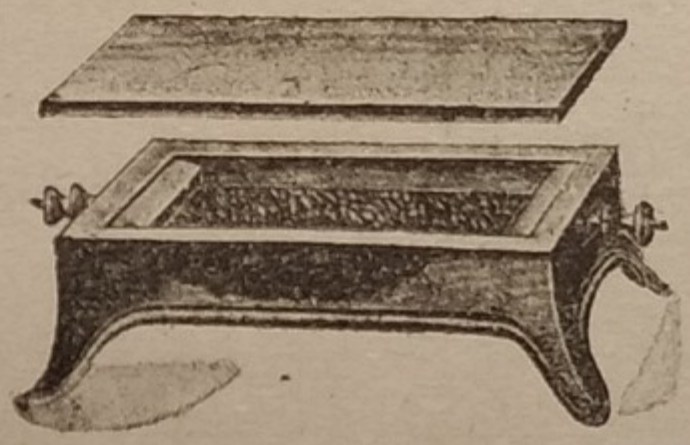


Fig. 91. — Altro cofanetto elettrotermico **Kryptol**.

refrattaria muniti di elettrodi (fig. 90 a 92). Circolandovi la corrente, le particelle del miscuglio si riscaldano e inoltre si producono tra di esse dei piccoli archi voltaici.

Per ottenere che le particelle abbiano la forma lenticolare o sferica, si formano innanzitutto delle mattonelle compresse colla sostanza polverulenta destinata a comporre il Kryptol e poscia si sgretolano colla mola a smeriglio.

Quando si porta ad alta temperatura in contatto coll'aria il Kryptol consuma a cagione della volatilizzazione del carbone.

Il Kryptol anche quando non devesi riscaldare oltre a 100° centigradi si pone entro cartucce cilindriche di vetro per termometro o di Jena che si chiudono alle loro estremità con capsule metalliche costituenti gli elettrodi. In questo caso esso potrà contenere una maggiore percentuale di carbone essendo sottratto al contatto coll'aria. Questi tubi, la cui lunghezza è secondo i tipi di 25 e 32 centimetri e il cui diametro è di 3 centimetri, si collocano su dei telai intro-

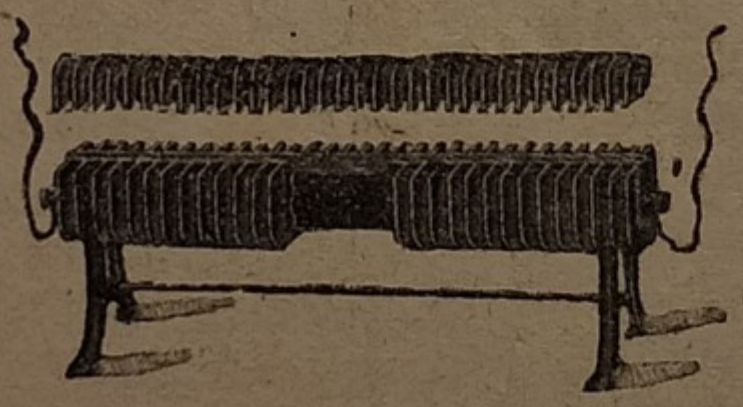


Fig. 92. — Apparecchio elettrotermico **Kryptol** ad alette.

ducendone le estremità entro pinzette a molla fissati su questi e si dispongono in serie in parallelo o per gruppi.

Come vedesi, il Kryptol presenta delle analogie colle resistenze metalloceramiche di cui si è testè discorso. La differenza consiste essenzialmente in ciò che queste essendo compatte il calore vi si genera esclusivamente nella loro massa, mentre in quello, che è polverulento e ha delle soluzioni di continuità dipendenti dalle dimensioni delle sue particelle e dalla pressione cui sono sottoposte, la produzione del calore vi è dovuta in parte alla resistenza di queste particelle e in parte a tanti piccoli archi che si formano negli interstizî compresi tra le particelle stesse.

Stufe con resistenza liquida.

Sono questi degli apparecchi in cui il calore si ottiene mercé il passaggio della corrente continua od alternativa monofase o trifase tra elettrodi immersi in acqua resa conduttiva con l'aggiunta di un po' di soda. Gli elettrodi possono essere costituiti da un metallo qualunque se la corrente è alternativa e debbono essere di piombo se la corrente è continua. In questo secondo caso, l'acqua scomponendosi parzialmente, bisognerà raccogliere separatamente i gas ossigeno ed idrogeno che si svolgono affinchè non producano un miscuglio detonante.

In queste stufe si determinano generalmente temperature da 20° C. a 95° C. La loro attività termica per una determinata differenza di potenziale dipende naturalmente dalla qualità, dosatura e temperatura dell'acqua nonchè dalla superficie e dalla distanza degli elettrodi. Il calore generato nell'acqua viene portato da questa alle pareti del recipiente in cui è contenuta ed esse lo cedono all'ambiente per irradiazione e per convessione.

Gli elettrodi saranno in numero di due se la corrente è continua o monofase ed in numero di tre se è trifase. In alcune stufe trifasi la stessa parete contenente il liquído serve da terzo elettrodo.

La temperatura dell'acqua si regola a mano ed anche, per assicurare che si mantenga entro determinati limiti, a mezzo di un regolatore termometrico automatico il quale interrompe la circolazione della corrente nella stufa allorchè la temperatura vi raggiunge il valore massimo, ad es. 90° C., e la ristabilisce allorchè la temperatura vi discende al valore minimo, ad es. di 80° C. Talvolta il regolatore automatico si limita ad impedire che la temperatura oltrepassi il valore massimo prefisso.

Conoscendosi la differenza di potenziale tra gli elettrodi e la resistività dell'acqua contenente della soda, non sarà difficile il determinare la superficie e la distanza degli elettrodi, perchè vi si svolga una determinata quantità di calore. Si noti che la

resistività dell'acqua è assai variabile a seconda della sua provenienza. L'acqua distillata ha la resistività di 600.000 ohm-cent. a 15° C. mentre alcune acque potabili e alcune acque di fiumi hanno rispettivamente la resistività di 13.000 e 500 ohm-cent. La resistività dell'acqua contenente della soda diminuisce in modo ragguardevole coll'aumentare del tenore della soda e della temperatura, come mostra la tabella che segue. Però quando in vaso aperto, e perciò a 100° C., l'acqua bolle, la sua resistività cresce rapidamente a cagione della formazione di bolle di vapore sugli elettrodi. In vaso chiuso tale resistività è sensibilmente superiore; inoltre mentre essa diminuisce coll'aumentare della temperatura sino a 140° C., per valori superiori a questo essa aumenta con essi.

Inoltre sarà pure facile, tenendo presente quanto avremo occasione di esporre da pag. 108 a 112, di determinare le superfici da assegnarsi alle pareti metalliche del recipiente contenente l'acqua perchè assumano una determinata temperatura in relazione ad una temperatura, pure prefissa, dell'ambiente, riflettendo che queste pareti, se si avrà cura di mantenerle scevre da incrostazioni, avranno sensibilmente la stessa temperatura dell'acqua con cui sono in contatto e che il calore da esse ceduto all'esterno dipenderà dalla differenza tra la loro temperatura e quella dell'aria esterna, dalla loro superficie, nonchè dai loro coefficienti di irradiazione e di convessione.

Avremo occasione di ritornare su questo argomento quando parleremo delle caldaje elettriche, (v. pag. 190).

Resistività in ohmcent. di soluzioni acquee di carbonato di soda cristallino del commercio per temperature da 0° a 100° C. in vaso aperto.

Tenore di Carbonato %	Temperature in gradi C.										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	293	230	180	145	120	104	90	81	72	65	60
1.5	215	175	144	118	98	85	75	67	59	52	47
2	165	130	107	90	77	68	57	49	45	41	37
3	135	115	83	67	56	47	40	34	30	27	25
4	115	90	70	55	45	39	33	28	24	22	21
5	96	75	60	47	40	31	27	22	20	18	17

Altri apparecchi elettrotermici.

Tra i parecchi altri caloriferi a conduzione proposti, che non ebbero che applicazioni assai limitate, citeremo quello nel quale si ottiene una grande superficie riscaldante a temperatura moderata mediante l'impiego di uno strato di carbone polverizzato situato tra due lamine di ferro smaltate esternamente, ed ivi mantenuto a posto con del cartone d'amianto. Le due lamine comunicano rispettivamente con due conduttori di adduzione della corrente, e tra i centri ed i due capi delle medesime sono inseriti dei nastri di rame. Serrando più o meno delle viti di tensione che congiungono le due lamine, si dà la compressione, e perciò la resistività, più conveniente al carbone.

Ricordiamo che molti anni fa fu costrutto un autoregolatore per macchine dinamoelettriche fondato sullo stesso principio di rendere variabile la resistenza del circuito di eccitazione, inserendovi del carbone e modificandone automaticamente il grado di compressione.

In questi ultimi tempi qualche stabilimento americano costrusse degli apparecchi elettrotermici che differiscono da quelli di cui ci occupammo al capitolo a pag. 72 in quanto che i conduttori metallici anzichè essere allogati in un mastice o in un imbottito isolante sono immersi in un isolante liquido, nell'olio.

Modi di annullare l'induttanza.

Abbiamo detto a pag. 19 che nel caso in cui i conduttori destinati a trasformare in calore le correnti elettriche alternative che vi circolano sieno avvolti ad elica bisognerà disporli in guisa da sopprimervi gli effetti dell'induttanza; e ciò affinchè risulti sensibilmente uguale all'unità il fattore di potenza dell'apparecchio riscaldante per evitare che o questo sia meno efficiente o che divenga più sensibile la perdita di energia lungo le linee di trasmissione che lo alimentano.

Come si possono eliminare gli effetti dell'autoinduzione? In modo assai semplice: disponendo le spirali riscaldanti in guisa che reciprocamente si annullino i campi magnetici generati dalle rispettive correnti alternative.

La fig. 93 mostra come si possa avvolgere un conduttore per modo da costituire due eliche dello stesso diametro e dello stesso passo collegate in serie e così disposte che le spire dell'una alternandosi con quelle dell'altra, vi si destino delle forze autoinduttrici di segno contrario e sensibilmente eguali che si elideranno quasi completamente. Con questo modo di avvolgimento però se la differenza di potenziale che agisce ai capi dell'avvolgimento

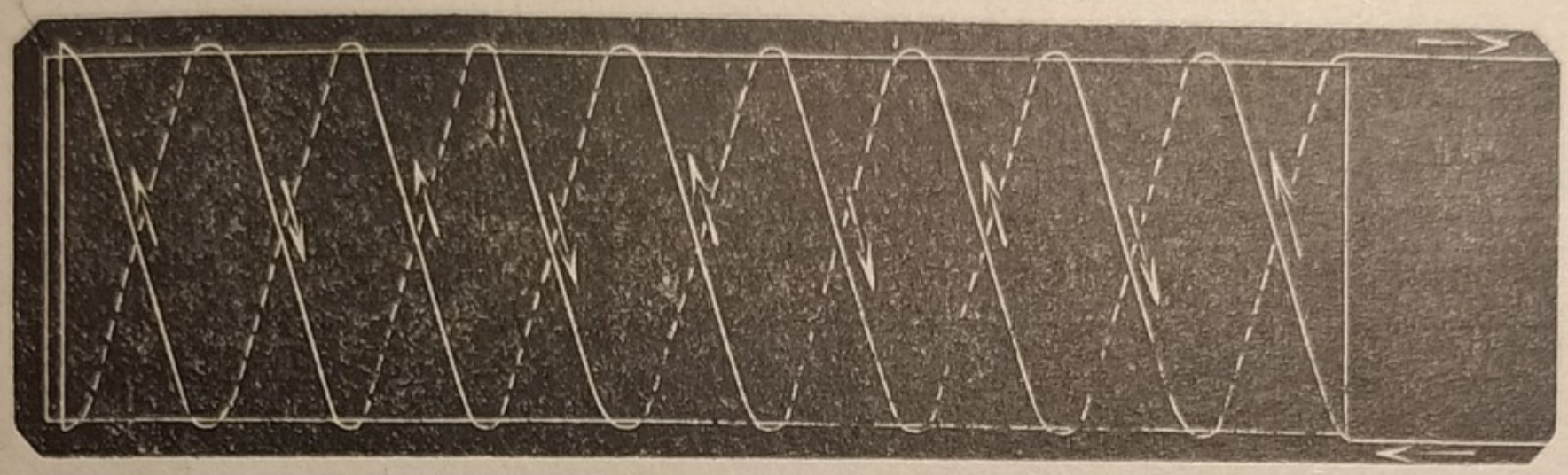


Fig. 93 — Schema di un rocchetto ad un solo circuito scevro da sensibili effetti di autoinduzione.

é molto grande, bisognerà distanziare le spire che risulteranno soggette a tensioni troppo diverse, specialmente quelle iniziali da quelle finali, per modo da evitarvi i corti circuiti.

Le due eliche con le spire alternate, anzichè in serie, possono essere disposte in derivazione, come indica la fig. 94. Questa disposizione rispetto alla precedente, a parità di differenza nel potenziale di alimentazione e nel numero delle spire del circuito di riscaldamento, vi determina una intensità di corrente doppia; e così pure vi risulta doppio il numero delle spire contigue che si troverebbero a tensioni assai diverse se tale differenza di potenziale fosse molto grande.

Infine si possono pure disporre le due eliche nel modo indicato nella fig. 95, e cioè senza che le spire dell'una si alternino con quelle dell'altra. Con questa disposizione si evitano le ragguardevoli differenze di potenziale tra le spire contigue; ma si accre-

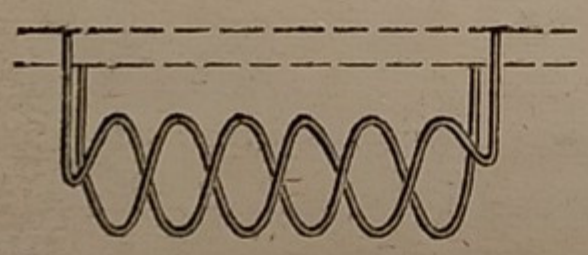


Fig. 94. — Due spirali elicoidali in derivazione e in opposizione (autoind. quasi nulla),

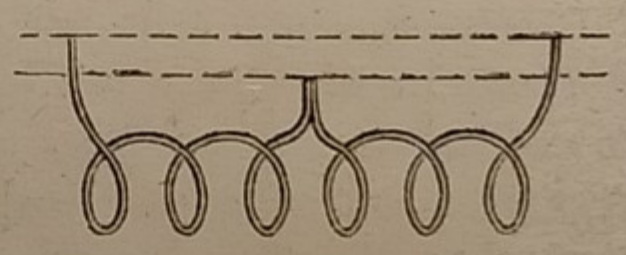


Fig. 95. — Due spirali elicoidali in derivazione e in opposizione (autoinduz. tenue).

sce però leggermente la dispersione del flusso magnetico, annullandovisi meno perfettamente gli effetti di autoinduzione. Inoltre per quanto le spire possano essere meno distanti le une dalle altre, poichè quelle contigue non si troverebbero soggette a tensione molto differente, pur tuttavia in generale le due spirali riscaldanti occuperebbero in questo caso, a parità di differenza di tensione e di efficienza, una lunghezza superiore a quella occupata dalle due spirali disposte come nella fig. 94.

Se i circuiti riscaldanti alimentati da correnti alternative invece di essere avvolti ad elica fossero disposti in uno stesso piano, vi si potranno sempre eliminare sensibilmente gli effetti dell'autoinduzione assegnando ai circuiti stessi un andamento tale

correnti in senso contrario per modo che tendano ad elidersi le forze che vi produrrebbero i campi magnetici.

Un tale scopo si può raggiungere assegnando a ciascuno elemento del circuito l'andamento sinuoso, e cioè quello rappresentato da una serie di numeri pari di aste parallele assai prossime collegate in serie come indica la fig. 74 (pag. 89).

Evidentemente tutti questi elementi privi di autoinduzione si possono collegare tra di essi in serie, in derivazione e per gruppi, sia monofase o trifase la distribuzione.

Caloriferi magnetici.

Ci occuperemo ora dei caloriferi fondati sugli effetti termici prodotti per induzione dalle correnti elettriche alternative nei nuclei metallici massicci. Il primo che ideò e costrusse caloriferi di tale tipo fu l'autore di questo libro il quale ne espose pure la teoria. In seguito ne vennero costruiti anche dalla Casa Elek. Gesellschaft Alioth di Monchestein (Basilea).

Uno di tali caloriferi, a circuito magnetico omogeneo, è stato concepito come indicano le fig. da 96 a 100, nelle quali N N rappresenta un nucleo di ghisa o d'acciaio fuso avente la forma di un cilindro cavo a sezione ovale od ellittica tramezzato da una parete piana cava T T. Su questa è avvolta una spirale S di filo di ferro, di rame o di argentana, discosta e isolata dal nucleo e disposta in derivazione sul circuito di distribuzione dell'energia elettrica. Alle estremità di questa spirale, operando una differenza di potenziale alternativa, si genererà nella spirale stessa una corrente alternativa, la quale desterà alla sua volta nel nucleo di ghisa o di acciaio due flussi magnetici alternativi simmetrici. Questi, in causa dell'isteresi e più in causa delle correnti di Foucault, saranno accompagnati da uno sviluppo di calore che, ceduto dal nucleo, potrà essere utilizzato pel riscaldamento degli ambienti. Così quelle azioni che altrove, nei generatori, motori e trasformatori elettrici, si procura di evitare o rendere minime perchè parassite, vengono qui ad arte provocate e favorite perché suscettibili di utili applicazioni. Il flusso essendo più denso nella parte ricoperta dalla spirale di eccitazione perchè ivi il disperdimento delle linee di forza è minore, la temperatura vi sarà maggiore ed il calore si propagherà dai tramezzi T, T alle altre parti del nucleo e da questo all'esterno Si è riconosciuto che la conduttività termica interna del nucleo è la stessa come se questo non fosse magnetizzato nel senso normale alle linee di forza ed è minore nella direzione di queste.

Essendo la distribuzione da cui si attinge la corrente eccitatrice della spirale del calorifero sottoposta ad una differenza di poten-

che sieno paralleli e contigui i loro tratti in cui circolano delle ziale efficace costante, si può modificare l'attività termica del calorifero costituendo in più sezioni tale spirale e inserendone più o meno nel circuito. Ciò facendo si variano evidentemente gli ampère-giri eccitanti, modificando per conseguenza l'intensità magnetica dei flussi corrispondenti, e perciò quelle azioni termiche che sono ad essa strettamente le gate. Come vedesi, questo calorifero magnetico e quello fondato sulla legge di Joule od elettrico nei riguardi della regolabilità sono affatto analoghi.

Fig. 96. Fig. 97.

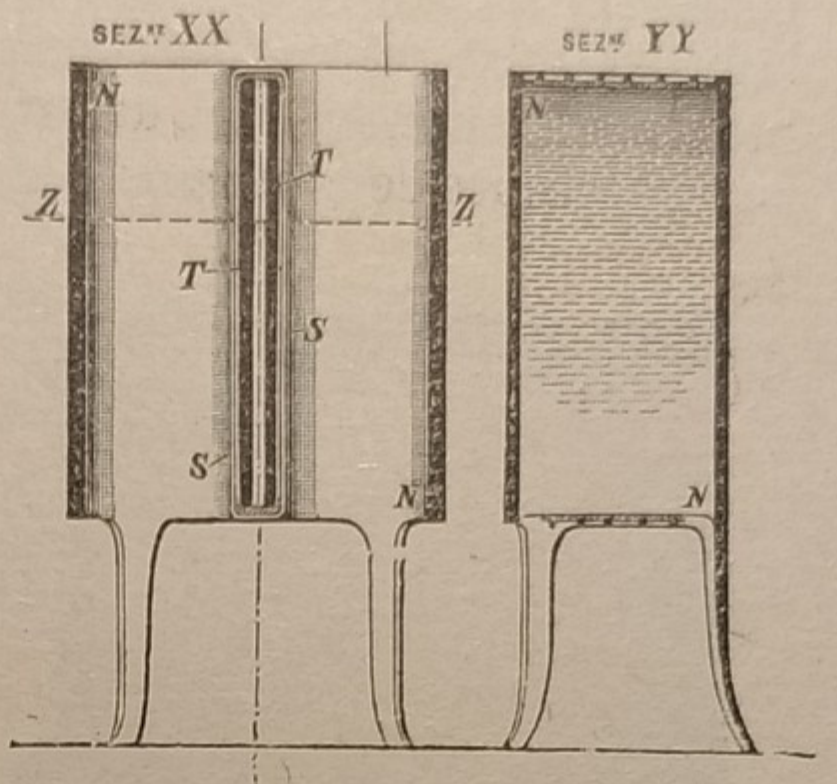


Fig. 98.

Fig. 96 a 100. — Calorifero **Verole** NN nucleo — T,T tramezzi — S spirale. — NN e T,T costituiscono un solo pezzo fuso.

Il nucleo potrà essere racchiuso in un involucro di lamierino metallico o di tela metallica che lo renda inaccessibile. Esso dovrà essere scuro nella sua parete esterna onde possa trasmettere sensibilmente del calore anche per irradiazione. E' facile il comprendere che qui le radiazioni termiche non sono più trascurabili come nel caso dei caloriferi filiformi. Perchè la superficie interna e quella esterna del nucleo cedano maggiormente calore per convessione, vi si faciliterà la circolazione dell'aria o tenendo il nucleo sollevato dal pavimento o dalle mensole di sostegno, o mettendolo in relazione ad acconce bocche di presa dall'esterno, oppure anche agitando l'aria circostante mediante un piccolo ventilatore elettrico.

Predeterminazione delle dimensioni del calorifero rappresentato dalla fig. 96 a 100.

Del calore fornito dalla spirale eccitante non si terrà conto per ora nella calcolazione; e così pure si trascurerà quello somministrato dalle superfici piane, assai piccole, che limitano superiormente e inferiormente il nucleo.

La temperatura massima del nucleo, allorchè trattasi di riscaldare dei locali signorili d'abitazione, si assumerà pari a 90° C. come quella dei caloriferi della prima specie.

Ciò posto, ci proponiamo di predeterminare le dimensioni del calorifero, e cioè quelle del nucleo e della sua spirale di eccitazione, affinchè esso sia suscettibile di produrre al massimo Q e al minimo Q' calorie all'ora durante il suo funzionamento, ritenendo che questo avvenga sotto l'azione di una forza elettromotrice sinusoidale costante E.

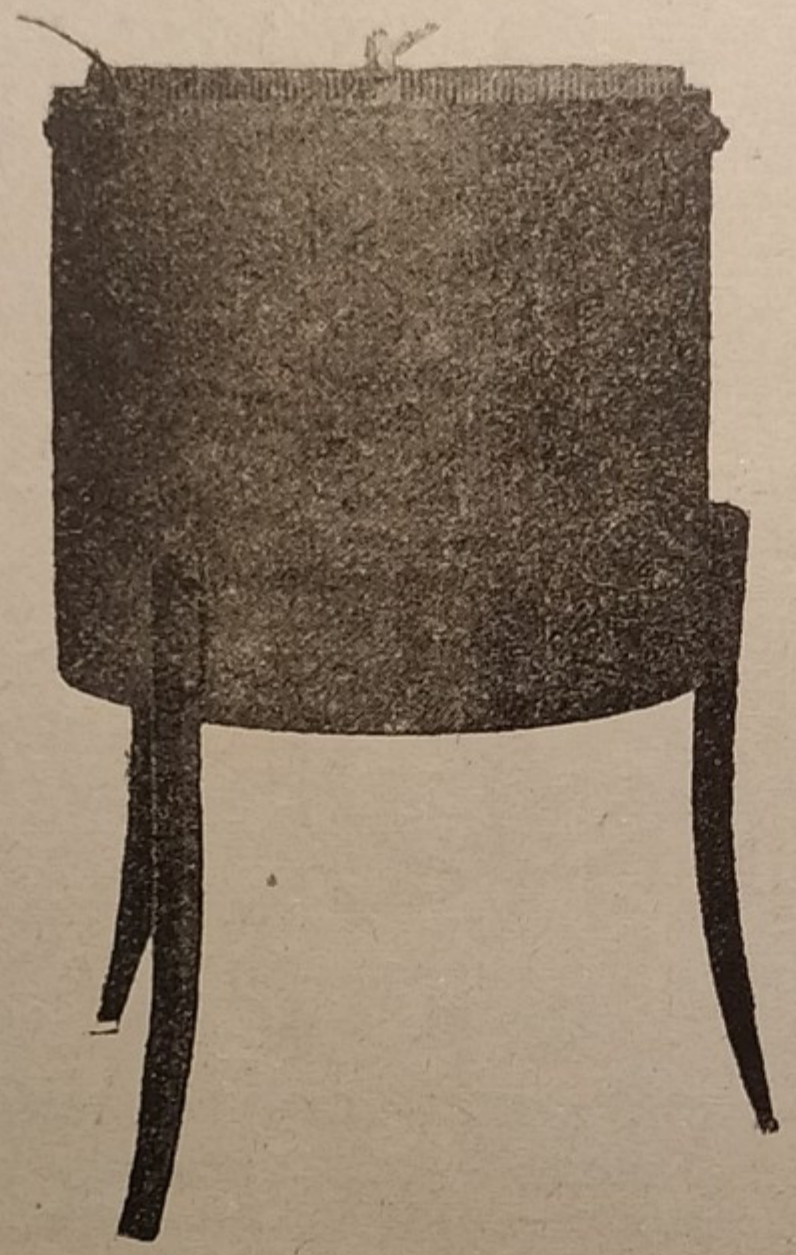


Fig. 99. — Vista esterna.

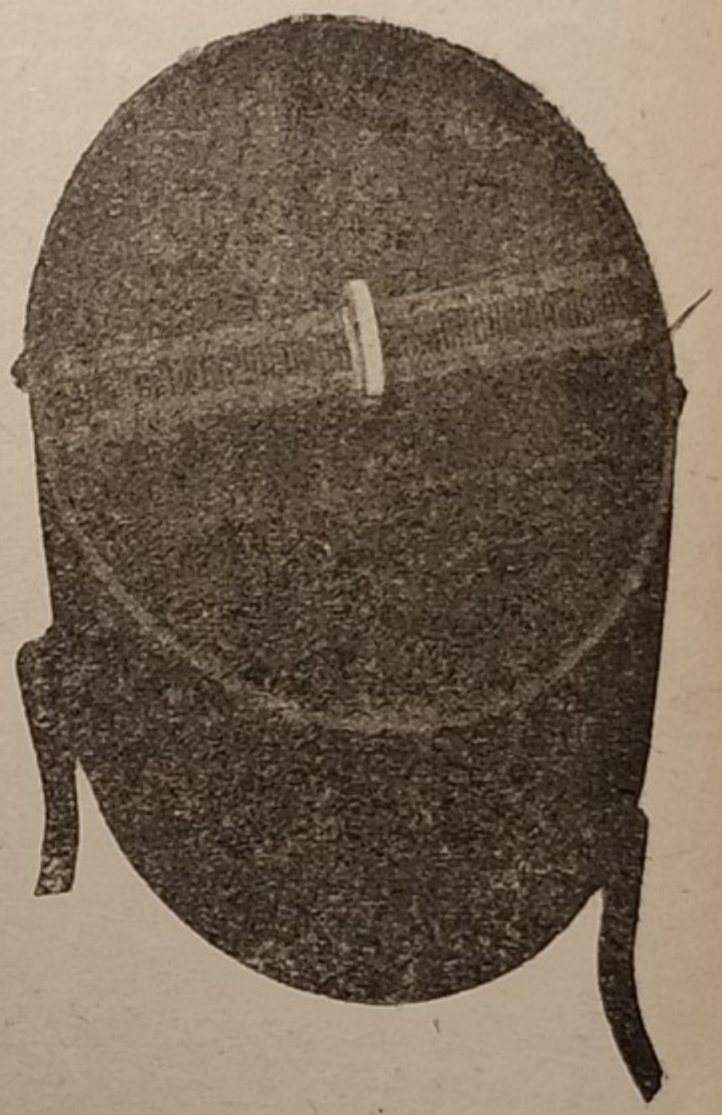


Fig. 100. — Vista interna.

Determinazione della superficie del nucleo.

A tale fine si calcoli innanzi tutto la superficie del nucleo, ricorrendo alla formola di Dulong e Petit:

$$Q = 124{,}72 \times 1.0077^{t'} \times (1{,}0077^{t-t'} - 1)\, i\, S_1 + \\ + 0{,}552\,(t - t')^{1{,}233}\, a\, S_2\ (*),$$

in cui rappresentano

t' la temperatura in gradi cent. dell'aria in contatto colle superficie di riscaldamento, la quale temperatura si ritiene sia

(*) Secondo Stefan, Rivière, Boltzmann, Wien e Lummer, la potenza calorifica totale irradiata da un corpo nero alla temperatura assoluta T ad un altro corpo nero alla temperatura assoluta T_1 è espressa da $P = i_1 (T^4 - T_1^4)$ watt per cent.^{2} essendo i_1 un coefficiente che dipende dallo stato delle superfici tra cui avviene lo scambio del calore ed il modo in cui avviene l'irradiazione.

Ferry trovò che questa formola è tanto più esatta quanto più è elevato T, e che se il calore è emesso direttamente senza riflessioni e incidenze, si può ritenere eguale a $5{,}32 \times 10^{-12}$.

pure quella delle pareti e dei corpi verso cui il calorifero irradia calore;

t id. id. della superficie riscaldante;

S_1 la superficie in mq. che trasmette calore per irradiazione;

S_2 la superficie in mq. che cede calore per convessione;

i il coefficiente di irradiazione riferito al mq. e all'ora;

a id. di convessione id. id.

Quest'equazione, la quale è attendibile per valori di $t - t'$ non superiori a 250° C., può con sufficiente approssimazione essere posta sotto la forma:

$$Q = (y\, i\, S_1 + x\, a\, S_2)(t - t^1) \qquad (6)$$

in cui ad x e y competono i valori esposti nelle seguenti tabelle:

Valori di x corrispondenti a valori di $t - t'$.

Valori di $t - t'$ in gradi C. inclusi		Valori di x	Valori di $t - t'$ in gradi C. inclusi		Valeri di x
tra	e		tra	e	
21	25	1,168	76	80	1,531
26	30	1,219	81	85	1,554
31	35	1,264	86	90	1,574
36	40	1,305	91	95	1,595
41	45	1,340	96	100	1,614
46	50	1,373	101	105	1,632
51	55	1,404	106	110	1,694
56	60	1,433	111	115	1,668
61	66	1,460	116	120	1,684
66	70	1,489	121	125	1,700
71	75	1.509	126	130	1,716

La legge espressa dalla detta formola si applica pure, per approssimazione, ai corpi se non neri almeno non lucenti. Pei fili di rame non lucidato risulta $i_1 = 4{,}5 \times 10^{-12}$, valore che collima esattamente coi risultati accennati a pag. 36.

Si è inoltre riconosciuto che la radiazione dei metalli dipende assai dalla loro conduttività termica.

Valori di y corrispondenti a valori noti di t e t'.

Valori delle differenze $t-t'$ in gradi centigradi inclusi		VALORI DI t'												
tra	e	-20^0	-15^0	-10^0	-5^0	0^0	$+5^0$	$+10^0$	$+15^0$	$+20^0$	$+25^0$	$+30^0$	$+40^0$	$+50_0$
		VALORI DI y												
46	50	0,9997	1,0388	1,0793	1,1215	1,1653	1,2098	1,2581	1,3074	1,3585	1,4082	1,4702	1,5932	1,7275
51	59	1,0205	1,0604	1,1017	1,4448	1,1896	1,2360	1,2843	1,3346	1,3867	1,4409	1,4973	1,6161	1,7431
56	60	1,0415	1,0822	1,1245	1,1684	1,2141	1,2615	1,3108	1,3621	1,4186	1,4707	1,5282	1,6396	1,7528
61	65	1,0633	1,1049	1,1479	1,1929	1,2395	1,2879	1,3382	1,3605	1,4449	1,9014	1,5001	1,6838	1,8160
66	70	1,0857	1,1282	1,1723	1,2181	1,2657	1,3151	1,3665	1,4199	1,4789	1,5332	1,5931	1,7091	1,8298
71	75	1,1088	1,1522	1,1971	1,2439	1,2925	1,3430	1,3955	1,4501	1,5068	1.5657	1,6209	1,7578	1,8955
76	80	1,1351	1,1795	1,2255	1,2735	1,3232	1,3749	1,4286	1,4345	1,5426	1,6028	1,6655	1,7973	1,9380
81	85	1,1566	1,2018	1,2497	1,2976	1,3482	1,4009	1,4556	1,5126	1,5717	1,6339	1,6970	1,8315	1,9752
86	90	1,1815	1,2277	1,2756	1,3285	1,3773	1,4311	1,4311	1,5451	1,6056	1,6683	1,7336	1,8693	2,0134
91	95	1,2071	1,2842	1,3032	1,3541	1,4271	1,4620	1,4620	1,5785	1,6403	1.7044	1.7711	1.9081	2,0550
96	100	1,2343	1,2816	1,3316	1,3859	1,4377	1,4939	1,4939	1.6129	1,6760	1,7415	1,8096	1,9590	2,1062
101	105	1,2603	1,3096	1,3306	1,4139	1,4692	1,5265	1,5265	1.6482	1.7127	1.7796	1,8492	1,9956	
106	11_0	1,2880	1,3364	1,3906	1,4450	1,5015	1,5601	1,5601	1,6845	1.7503	1,8187	1,8899		
111	115	1,3166	1,3681	1,4215	1,4770	1,5348	1,5947	1,6570	1,7218	1,7892	1,8599			
116	120	1,3459	1,3985	1,4531	1,5099	1,5689	1,6302	1,9636	1,7601	1,8290				
121	125	1,3660	1,4197	1,4855	1,5436	1,6039	1,6666	1,7313	1,7994					
126	130	1,4070	1,4552	1,5190	1.5784	1,6401	1,7042	1,7707						

In questa tabella si ammisero anche temperature ambienti da $+20$ a $+50^0$ C. nell'eventualità che si debbano progettare caloriferi per camere calde di verniciatura, essiccatoi, ecc.

Valori di y corrispondenti a valori noti di t e t'.

Valori delle differenze $t - t'$ in gradi centigradi inclusi		VALORI DI t'												
tra	e	-20^0	-15^0	-10^0	-5^0	0^0	$+5^0$	$+10^0$	$+15^0$	$+20^0$	$+25^0$	$+30^0$	$+40^0$	$+50_0$
		VALORI DI y												
46	50	0,9997	1,0388	1,0793	1,1215	1,1653	1,2098	1,2581	1,3074	1,3585	1,4082	1,4702	1,5932	1,7275
51	59	1,0205	1,0604	1,1017	1,4448	1,1896	1,2360	1,2843	1,3346	1,3867	1,4409	1,4973	1,6161	1,7431
56	60	1,0415	1,0822	1,1245	1,1684	1,2141	1,2615	1,3108	1,3621	1,4186	1,4707	1,5282	1,6396	1,7528
61	65	1,0633	1,1049	1,1479	1,1929	1,2395	1,2879	1,3382	1,3605	1,4449	1,9014	1,5001	1,6838	1,8160
66	70	1,0857	1,1282	1,1723	1,2181	1,2657	1,3151	1,3665	1,4199	1,4789	1,5332	1,5931	1,7091	1,8298
71	75	1,1088	1,1522	1,1971	1,2439	1,2925	1,3430	1,3955	1,4501	1,5068	1.5657	1,6209	1,7578	1,8955
76	80	1,1351	1,1795	1,2255	1,2735	1,3232	1,3749	1,4286	1,4345	1,5426	1,6028	1,6655	1,7973	1,9380
81	85	1,1566	1,2018	1,2497	1,2976	1,3482	1,4009	1,4556	1,5126	1,5717	1,6339	1,6970	1,8315	1,9752
86	90	1,1815	1,2277	1,2756	1,3285	1,3773	1,4311	1,4311	1,5451	1,6056	1,6683	1,7336	1,8693	2,0134
91	95	1,2071	1,2842	1,3032	1,3541	1,4271	1,4620	1,4620	1,5785	1,6403	1.7044	1.7711	1.9081	2,0550
96	100	1,2343	1,2816	1,3316	1,3859	1,4377	1,4939	1,4939	1.6129	1,6760	1,7415	1,8096	1,9590	2,1062
101	105	1,2603	1,3096	1,3306	1,4139	1,4692	1,5265	1,5265	1.6482	1.7127	1.7796	1,8492	1,9956	
106	11_0	1,2880	1,3364	1,3906	1,4450	1,5015	1,5601	1,5601	1,6845	1.7503	1,8187	1,8899		
111	115	1,3166	1,3681	1,4215	1,4770	1,5348	1,5947	1,6570	1,7218	1,7892	1,8599			
116	120	1,3459	1,3985	1,4531	1,5099	1,5689	1,6302	1,9636	1,7601	1,8290				
121	125	1,3660	1,4197	1,4855	1,5436	1,6039	1,6666	1,7313	1,7994					
126	130	1,4070	1,4552	1,5190	1.5784	1,6401	1,7042	1,7707						

In questa tabella si ammisero anche temperature ambienti da $+20$ a $+50^0$ C. nell'eventualità che si debbano progettare caloriferi per camere calde di verniciatura, essiccatoi, ecc.

Il coefficiente i, sia il nucleo di ghisa ovvero di acciaio, sarà eguale a 3,36. Il coefficiente a, invece, per essere il nucleo in parte cilindrico concavo, in parte cilindrico convesso ed in parte piano, dovrà avere tre valori. Due di questi valori però, quelli riferentisi alle superfici cilindriche interne e alla superficie cilindrica esterna, in considerazione anche del debole spessore del nucleo, si potranno ritenere approssimativamente ugua li e corrispondenti alla superficie cilindrica intermedia di questo. In mancanza di formole pratiche per la determinazione del coefficiente di convessione relativo alle superfici cilindriche ovali od ellittiche, si potrà ricorrere a quella del Péclet riferente si a superfici cilindriche circolari, ammettendo che il calore per contatto sia trasmesso da una superficie cilindrica circolare di pari altezza ed area di quella effettiva ovale od ellittica.

Le formole del Péclet che pei fili, come vedemmo, sono inapplicabili, possono nel caso presente, in causa dei limiti entro cui sono comprese le dimensioni del nucleo, dare risultati abbastanza concordanti colla pratica.

Chiamando r il raggio in metri e H l'altezza pure in metri della superficie cilindrica ideale che si suppone ceda calore per contatto, il relativo coefficiente di convessione sarà espresso da

$$a_1 = \left(1{,}726 + \frac{0{,}0345}{\sqrt{r}} \right) \left(2{,}43 + \frac{0{,}8758}{\sqrt{H}} \right),$$

ammesso che l'aria la quale assorbe tale calore sia tranquilla.

Il coefficiente di convessione a_2 relativo al tramezzo piano, la cui altezza è eguale a H m., risulta dalla formola

$$a_2 = 1{,}764 + \frac{0{,}656}{\sqrt{H}}$$

in condizioni atmosferiche come le precedenti.

Introducendo questi valori di a_1 e a_2 nell'equazione (6), e ponendovi inoltre

$$S_1 = 1{,}3\ \pi\ D\ H \qquad S_2 = 4\ DH + 1{,}3\ \pi\ D\ H,$$

ritenendo che sia 1,3 il rapporto tra il diametro $2\ r$ della superficie cilindrica circolare ideale ed il diametro minore D della superficie effettiva intermedia cilindrica ovale o ellittica, si avrà l'espressione di Q in funzione di r ed H.

Per tentativi si potranno trovare dei valori di H ed r che soddisfacciano con sufficiente approssimazione ad un richiesto valore di Q. Ottenuto r o D, sarà facile determinare il diametro maggiore della superficie ovale od ellittica.

Esempi numerici.

Suppongasi che nel periodo di regime, mentre t è eguale a 90° C., sia $t' = 15°$ C., e cioè $t - t' = 75$ Dalle tabelle a pag. 109 e 110 risulterà

$$x = 1{,}51 \qquad y = 1{,}45.$$

Si assuma

$$H = 0^m{,}60 \qquad D = 0^m{,}30;$$

e però si avrà

$$r = \frac{0{,}30 \times 1{,}3}{2} = 0^m{,}195,$$

$$a_1 = 2{,}85 \qquad a_2 = 2{,}62,$$

e conseguentemente

$$Q = (1{,}45 \times 3{,}36 \times 0{,}30 \times 3{,}14 \times 0{,}60 \times 1{,}3 + 1{,}51 \times 2{,}85$$
$$2 \times 3{,}14 \times 0{,}30 \times 0{,}60 \times 1{,}3 + 1{,}51 \times 2{,}62 \times 4 \times 0{,}30 \times 0{,}60)$$
$$75 = 956$$ e cioè 1000 calorie circa.

Se è questo il prefisso valore di Q, si adotteranno definitivamente gli assunti valori di H e di D; nel caso diverso si modificheranno questi valori, tenendo presente che mentre col crescere di essi aumenta proporzionalmente la quantità di calore trasmessa per irradiazione, lo stesso non avviene per quella ceduta per contatto, giacchè se essa da un lato aumenta colla superficie totale trasmettente, d'altro lato diminuisce per unità di tale superficie col crescere di H e di D. Da qui si scorge come possa in certi casi essere preferibile l'impiego di due o tre caloriferi anzichè quello di uno solo.

Nel caso che il calorifero, invece di un alloggio o di un ufficio, fosse destinato a riscaldare un'officina, ove, per essere il personale occupato in lavori manuali, sarà sufficiente $t' =$ 10 C°, ed ove inoltre si potrà ammettere $t =$ da 130° C. a 150° C., non preoccupando più la torrefazione del pulviscolo dell'aria, esso calorifero potrà somministrare colla identica superficie trasmettente per forma e dimensioni, da 1840 a 2221 calorie all'ora.

Infine se l'aria invece di essere traquilla fosse aspirata da un camino di richiamo ovvero aspirata od insufflata da un ventilatore, la convessione divenendo forzata, la efficienza termica delle pareti del calorifero potrà anche essere triplicata o quadruplicata.

Determinazione dello spessore del nucleo.

Ottenute così le dimensioni del nucleo fuso del calorifero ad eccezione del suo spessore, devesi determinare il valore di questo in correlazione del prefisso valore di Q ed a quello della differenza di potenziale sinusoidale alternativa efficace E di cui si può disporre.

Influenza delle correnti di Foucault.

A tale effetto si astragga per ora dal calore generato per isteresi e si consideri solo quello dovuto alle correnti di Foucault. Si ricordi la formola, dedotta analiticamente da Fleming e confermata dall' esperienza, relativa a quest' ultima quantità di calore:

$$\frac{Q_1}{16 \times 3600} \frac{425}{75} 736 = \frac{(s\, f\, B_{\text{mass.}})^2\, V}{10^{12}},$$

ove esprimono

Q_1 il calore orario in calorie,
s lo spessore del nucleo in cent.,
V il volume del nucleo in cent^3.,
$B_{\text{mass.}}$ l'induzione specifica massima in gauss,
f la frequenza della corrente che desta i flussi alternativi sinusoidali nel nucleo.

Questa formola si riferisce soltanto ai lamierini di ferro il cui spessore sia piccolissimo a fronte della loro altezza.

La resistività della ghisa, di cui riterremo sia costruito il nucleo, dipende naturalmente dalla sua composizione e dalle eventuali cavità e soffiature: essa, se la ghisa é compatta, si avvicinerà a quella del ferro, alla quale sarà però sempre superiore in causa del maggior tenore di carbonio. Inoltre anche lo spessore del nucleo da noi considerato risulta una tenuissima frazione della sua altezza. Pertanto l'approssimazione che si otterrà applicando una tale formola al nucleo stesso dovrà essere abbastanza soddisfacente. Si potrebbe del resto, volendo, tener conto dell'effetto demagnetizzante che le correnti foucaultiane esercitano sul nucleo.

Torna superfluo di aggiungere che per una maggiore approssimazione converrà di determinare esperimentalmente la resistività della qualità della ghisa che vuolsi impiegare, modificando in correlazione il coefficiente numerico di Q_1 nella espressione testè scritta.

Potrà giovare, per assumere il valore della resistività del nucleo, di tener presente che, giusta le esperienze di Jaeger e Diesselhorst, il rapporto tra la conduttività termica e quella elettrica di un medesimo metallo, alla stessa temperatura, è sensibilmente costante (pel ferro a 18° C. è eguale a 8,38).

Esempi numerici.

Per essere di ghisa il nucleo si assuma $B_{\text{mass.}} = 6000$ gauss. A questo valore dell'induzione specifica massima, se il flusso fosse continuo, corrisponderebbe il valore della permeabilità magnetica $\mu = 280$; il flusso essendo invece alternativo, la permeabilità magnetica sarà minore, analogamente a quanto av-

viene a riguardo della conduttività elettrica di un conduttore percorso da correnti alternative: i flussi alternativi, tanto magnetici quanto elettrici, si addensano verso la periferia dei loro circuiti. Si noti che il valore di $B_{mass.}$ non sarà uniforme in tutte le sezioni orizzontali del nucleo considerato a cagione delle dispersioni magnetiche, ma sarà massimo nella parte del nucleo che è avvolta dalle spire eccitanti e decrescerà successivamente a partire da questa sino ai punti da essa più discosti. Pertanto $B_{mass.}=6000$ gauss dovrà esprimere un valore medio tra i massimi valori che l'induzione magnetica specifica assume lungo il nucleo.

Il volume V del nucleo che si è considerato è dato in funzione dello spessore s dalla formola

$$V=(30\times 3,14\times 60\times 1,3+2\times 30\times 60)\ s=10947s.$$

Ponendo nella penultima equazione questi valori di $B_{mass.}$ e di V ed inoltre $Q_1=1000$, $f=42$, si avrà

$$\frac{1000}{16\times 3600}\ \frac{425}{75}\ 736=\frac{\overline{42}^{2}\times\overline{6000}^{2}\times 10647}{10^{12}}\ s^3,$$

da cui ricavasi $s=4,7$ mm. e cioè $=5$ mm. circa.

Ritenendo $Q_1=2000$ calorie, s risulterà eguale a circa 6 mm., mentre le superfici riscaldanti assumerebbero, come si è detto più sopra, la temperatura di 150° C., essendo di 10° C. quella dell'ambiente. Per $Q_1=4000$, $s=7,5$ mm.

Il peso del nucleo per $s=4,7$ mm. e per $s=6$ mm., sarebbe rispettivamente di Kg. 36 e Kg. 54; e però la sua potenza calorifica riferita al Kg. sarebbe nel primo caso di $\frac{28}{3600}$ e nel secondo caso di $\frac{37}{3600}$ calorie.

Influenza dell'isteresi.

Considerasi ora il calore Q_2 generato nel nucleo durante un'ora per effetto del fenomeno di isteresi. Tale energia termica, giusta la legge empirica di Steinmetz, che è valevole per le relativamente basse frequenze a cui si ricorrerà (*), salvo il caso

(*) Mentre Warburg, König e Tanakadaté giungono alla conclusione che l'energia dissipata in un ciclo di magnetizzazione diminuisce se la frequenza aumenta, Evershed e Vignoles, Bergmann, Gray e Maurain, Guye e Herzfeld ritengono, in base alle loro esperienze, che tale energia è indipendente dalla rapidità con cui si effettua il ciclo. Infine sia Corbino che Wien concludono per l'aumento, alle frequenze elevate, dell'energia consumata per isteresi in ciascun ciclo.

Quanto all'influenza della temperatura sull'isteresi, essa fu pure diversamente apprezzata da parecchi esperimentatori. Secondo le risultanze delle ricerche di R. L. Wills, pel ferro le perdite per isteresi crescono coll'induzione tanto più rapidamente quanto più ne è bassa la temperatura.

in cui il nucleo si trovi allo stato di saturazione, può essere espressa da

$$Q_2 = \frac{3600\ V\ \eta\ f\ B_{mass.}^{1.6}}{4170 \times 10^7} \text{ calorie,}$$

essendo η un coefficiente che per la ghisa è eguale a 0,0162, ed avendo gli altri simboli lo stesso significato come precedentemente. Se il nucleo è saturo di magnetismo, invece dell'esponente 1,6 bisognerà adottarne uno più prossimo a 2.

Ponendo in questa formola

$f = 42$, $B_{mass.} = 6000$ gauss, $V = 10947 \times 0{,}47$ cent.^{3} oppure $V = 10947 \times 0{,}6$ cent.^{3}, oppure $V = 10947 \times 0{,}75$ cent.^{3}, si dedurrà

$Q_2 = 335$, oppure $= 427$, oppure $= 534$ calorie circa.

Come vedesi, la quantità di calore dovuta all'isteresi è assai minore, nel caso considerato, di quella prodotta dalle correnti di Foucault: tuttavia essa è abbastanza cospicua.

Influenza complessiva delle correnti di Foucault e dell'isteresi.

Si voglia determinare il valore di s corrispondentemente al quale sia una quantità prefissa Q il calore totale generato nel nucleo ad un tempo dall'isteresi e dalle correnti di Foucault. Basterà a tale scopo ricorrere alla relazione

$$\frac{4170\ Q}{3600\ V} = \frac{16\ (s\ f\ B_{mass.})^2}{10^{12}} + \frac{0{,}0162\ f\ B_{mass.}^{1.6}}{10^7}. \qquad (7)$$

Riflettendo che V è direttamente proporzionale ad s, subito si vede che questa equazione è di terzo grado rispetto ad s. Ponendo in tale equazione i valori numerici precedentemente adottati, si scorgerà che essa ammette un solo valore reale di s, e si otterrà

per $Q = 1000$ calorie $s = 4$ mm.
e per $Q = 2000$ » $s = 5{,}4$ mm.

A questi valori corrispondono rispettivamente le potenze specifiche termiche di $\frac{33}{3600}$ o $\frac{40}{3600}$ calorie.

Evidentemente queste quantità di calore vengono integralmente trasmesse all'ambiente durante il periodo di regime, mentre durante l'avviamento una parte di esse si accumula nel nucleo.

Il nucleo essendo costituito da un getto greggio, non potrà avere in ogni sua parte l'esatto spessore calcolato sia per le inevitabili irregolarità e deformazioni, sia perchè, onde poter

ritirarlo dalla forma in cui fu colato, occorre che le sue sezioni longitudinali siano trapezoidali. Tuttavia le differenze nello spessore potranno essere assai tenui e non sarà assolutamente il caso di assegnare al getto un maggiore spessore per ridurlo poscia al tornio, tanto più che allo stato greggio esso è in condizione di trasmettere all'esterno una maggiore quantità di calore.

Calcolo del circuito di eccitazione.

Conoscendo ora tutte le dimensioni del nucleo, rimane da predeterminare la spirale eccitante per modo che la corrente che vi sarà immessa dalla differenza di potenziale efficace generi nel nucleo noto quel flusso alternativo di valore massimo $B_{mass.}$ che si è presupposto e che dovrà produrre gli effetti termici richiesti. Si ammetterà che tutte le spire costituenti il circuito di eccitazione siano collegate tra di esse in serie.

Determinazione del numero delle spire.

Per ottenere il numero n delle spire di codesta spirale, ritenendo che non vi sia disperdimento di flusso, che la resistenza ohmica di essa spirale sia nulla, e che il suo coefficiente di autoinduzione sia eguale a $4\ \pi\ n^2\ \mu\ S : 10^9\ l$ (*), trascurando l'effetto demagnetizzante delle correnti di Foucault, si potra impiegare la formola seguente, facilmente deducibile dalla relazione che lega il flusso magnetico alla forza magnetomotrice:

$$B_{mass.} = \frac{E_{mass.}\ 10^8}{2\ \pi\ n\ f\ S}, \qquad (8)$$

essendo $E_{mass.}$ il valore massimo in volta della differenza di potenziale sinusoidale; S la sezione secondo il piano XX (fig. 96 a 98) di ciascuna delle due parti simmetriche del nucleo in cent^2; f la frequenza della corrente eccitante; $B_{mass.}$ la intensità magnetica massima in gauss nel nucleo.

Ponendo in questa formola

$E_{mass.}=78$ volta (che si riferisce al caso in cui due caloriferi identici siano inseriti in una stessa derivazione di una distribuzione sotto la differenza di potenziale efficace di 110 volta); $f=42$; $B_{mass.}=6000$ gauss; $S=2\times60\times0,47=56,4$ cent^2; si dedurrà $n = 82$ circa, che corrisponderà a $Q = 1335$ calorie. Si otterrà per $Q = 2487$ calorie, $S = 2\times60\times0,6=72$ cent^2 e $n=70$; per $Q = 4532$ calorie, $S = 2\times60\times0,75=90$ cent^2 e $n = 56$.

Si noti che il numero delle spire della spirale eccitante può

(*) In questa espressione rappresentano μ la permeabilità magnetica e l la lunghezza media del circuito magnetico; gli altri simboli vi hanno lo stesso significato come nella formola (8).

risultare elevatissimo ed incompatibile anche con certe forme e certe dimensioni del calorifero.

Allorchè tutte le spire non si possono disporre in un solo strato sul diaframma interno T T senza pregiudizio dell'effetto termico, si vedrà se sia il caso di ripartirle in più strati, oppure anche di avvolgerne una frazione sulle parete cilindrica del nucleo (V. fig. 106 e 107), modificando così il tipo del calorifero, ovvero di studiare un altro nucleo che consenta di attuare la disposizione primitiva. Naturalmente, disponendo una parte della spirale sulla parete cilindrica del nucleo, diminuirà il disperdimento del flusso magnetico e però bisognerà scegliere per $B_{mass.}$ un valore minore del precedente. Inoltre per effetto di tale avvolgimento complementare diminuirà la superficie trasmettente calore per irradiazione.

Numero delle spire a cui corrisponde la massima potenza calorifica.

La formola (8) merita di essere considerata attentamente. Essa ci dice che, fermi restando tutti gli altri elementi, il flusso magnetico massimo del nucleo, e però la quantità di calore in questo svolto, cresce col diminuire di n. Nè ciò deve sorprendere essendochè col diminuire di n aumenta in proporzione assai maggiore di quel che n diminuisca, l'intensità della corrente eccitante, scemando assai rapidamente l'effetto ostruzionista dell'autoinduzione. Quale valore massimo potrà assumere tale flusso riferito all'unità di sezione, al cent.^{2}? Il nucleo essendo di ghisa, codesto valore massimo sarà poco più di 9000 gauss, raggiunto il quale per essere il nucleo saturo di magnetismo, per quanto si continui a diminuire n, non si otterrà una sensibile maggior produzione di calore nel nucleo. Col scemare di n aumentando però rapidamente l'intensità della corrente di eccitazione, assai più rapidamente di quello che decresca la resistenza ohmica, aumenterà pure notevolmente, ammesso che le spire sieno sempre della stessa natura, della stessa sezione e collegate fra di esse allo stesso modo, il calore generato per l'effetto Joule nella spirale eccitante, calore che mentre per altre applicazioni sarebbe prodotto in una pura perdita, qui concorrerebbe a riscaldare l'ambiente. Tuttavia, come sarà detto, con opportuni accorgimenti, si potrà in certi casi, conseguendo anche un risparmio nel peso del metallo costituente la spirale di eccitazione, rendere assai meno notevole l'aumento che la quantità di calore in essa prodotta subisce allorquando si diminuisce il numero delle sue spire.

Il valore di n per cui B diventa massimo, ritenendo che la temperatura del nucleo non raggiunga mai quella prossima a 600° C. alla quale questo comincierebbe a perdere le sue pro-

prietà magnetiche, sarebbe rispettivamente, nei 3 casi dianzi considerati, di $82\,\frac{6000}{9000}=55$, $70\,\frac{6}{9}=47$, $56\,\frac{6}{9}=37$ circa; a cui — trascurando la circostanza che allo stato di saturazione l'energia termica dovuta all'isteresi è proporzionale a $B_{mass.}$ elevato a un'esponente più vicino a 2 che non sia 1,6 — corrisponderebbero, giusta il calcolo, le seguenti produzioni di calore nel nucleo, le quali però non saranno approssimativamente realizzabili se non nel caso che si verifichi la condizione suaccennata a riguardo della temperatura:

$$1000\left(\frac{9}{6}\right)^2+335\left(\frac{9}{6}\right)^{1,6}=2891 \text{ calorie all'ora,}$$

$$2000\left(\frac{9}{6}\right)^2+427\left(\frac{9}{6}\right)^{1.6}=5317 \text{ calorie all'ora,}$$

$$4000\left(\frac{9}{6}\right)^2+534\left(\frac{9}{6}\right)^{1,6}=10020 \text{ calorie all'ora.}$$

Le temperature del nucleo corrispondenti a queste produzioni di calore si potranno determinare mediante la formola già esposta. Però non tutti i risultati che si otterranno saranno da accogliersi.

Per Q=2900 calorie e $t'=10°$ C, si avrà

$$124,72\times 1,0077^{10}\times 3,36\times 3,14\,(1,0077^{t-10}-1)+$$
$$+0,552\,(t-10)^{1,233}\,(2,85\times 2\times 3,14+2,62\times 4)=$$
$$=\frac{2900}{0,30\times 0,60}\text{ ; da cui ricavasi } t=206°\text{ C.}$$

Ponendo in questa stessa equazione Q=5317 calorie e Q=10020 calorie, si otterrebbero dei valori di $t-t'$ che, per essere superiori a 250° C., non meriterebbero più fiducia, essendo tale equazione stata empiricamente trovata per valori di $t-t'$ non eccedenti questo limite.

Influenza del numero delle spire sulla potenza calorifica.

Come varierà l'attività termica di uno stesso nucleo col variare del numero delle sue spire di eccitazione disposte in serie? Evidentemente $B_{mass.}$ essendo in ragione inversa di n, le potenze calorifiche dovute alle correnti di Foucault ed alla isteresi, giusta la formola precedentemente scritta, varieranno rispettivamente in ragione di $\frac{1}{n^2}$ e $\frac{1}{n^{1,6}}$.

Per $s=4,7$ m/m essendo, come si vide,
$Q=1000+335$ calorie all'ora quando $n=82$, risulterà

$$Q = \frac{1000 \times 82^2}{100^2} + \frac{335 \times 82^{1,6}}{100^{1,6}} = 916 \text{ calorie all'ora circa}$$

allorchè $n=100$;

$$Q = \frac{1000 \times 82^2}{70^2} + \frac{305 \times 82^{1,6}}{70^{1,6}} = 1800 \text{ calorie all'ora circa}$$

allorchè $n=70$.

Per $n = \frac{82 \times 6}{9} = 55$, valore che corrisponde alla saturazione magnetica, sarà

$$Q = \frac{1000 \times 82^2}{55^2} + \frac{335 \times 82^{1,6}}{55^{1,6}} = 2900 \text{ calorie circa all'ora,}$$

che è la massima produzione calorifica di cui il nucleo è suscettibile, come si disse più sopra.

L'attività termica del calorifero considerato potrà adunque essere piccola quanto si vuole se si disporrà di un numero sufficiente di spire, ma per contro non potrà mai oltrepassare il limite di 2900 calorie all'ora. Per non moltiplicare eccessivamente il numero delle spire, sarà però opportuno, onde rendere piccolissima la media produzione giornaliera del calore, di far agire la stufa in modo intermittente. Pel nucleo che si è considerato converrà adottare 85 spire in serie, nonché un commutatore che permetta di far circolare la corrente in tutte le 85 spire, ovvero in 70, in 65 e in 55 di esse. Si avranno così quattro diverse attività termiche, più che sufficienti al bisogno, tanto più che la somministrazione del calore si potrà inoltre ancora modificare rendendo intermittente il funzionamento del calorifero.

* * *

Notisi di più che rinunciando alla possibilità di moderare l'azione del calorifero altro che col farlo agire in modo intermittente, si potrà rendere piccolo quanto si vorrà il numero delle spire eccitanti purché il nucleo abbia dimensioni tali che non vi riesca eccessiva la produzione del calore corrispondentemente alla sua completa saturazione magnetica. E infatti, raggiunto il grado di saturazione, la densità del flusso magnetico, e però anche la potenza termica prodotta, non aumenteranno in modo apprezzabile per quanto facendo diminuire n si aumentino gli ampèregiri corrispondenti. Aumenterà invece rapidamente la sezione del conduttore costituente la spirale eccitante, ammessavi la stessa densità specifica di corrente, giacchè l'intensità della corrente varia in ragione inversa del coef-

ficiente di autoinduzione e questo, a parità di circostanze, è proporzionale a n^2. E così pure aumenterà rapidamente il peso del rame: e infatti questo, se da un lato è proporzionale al numero delle spire, d'altro lato è pure proporzionale alla loro sezione, e conseguentemente è inversamente proporzionale al quadrato del numero delle spire; di guisa che, denominando n_0 il numero delle spire per le quali si comincia a raggiungere la saturazione magnetica, se si adotterà un numero di spire $n_1 <$ di n_0, si eleverà nel rapporto $\frac{n_1}{n_1^2} n_0 = \frac{n_0}{n_1}$ il peso del rame corrispondente ad n_0. In altri termini si può dire che il peso della spirale di eccitazione è in ragione inversa del numero delle sue spire. Tale maggior peso di rame non avrebbe per effetto di accrescere sensibilmente la potenza termica dell'apparecchio. Tuttavia potrà forse tornare opportuno in casi speciali per ragioni costruttive di impiegare un eccesso di rame per ottenere un minor numero di spire.

Funzionamento sotto differenti dislivelli di potenziale e a differenti frequenze.

Importa ancora di rilevare una conseguenza che si può trarre dalla formola (8). Da essa si apprende che per uno stesso nucleo e per una stessa frequenza della corrente che lo eccita, $B_{mass.}$ è costante per uno stesso valore del rapporto $\frac{E_{mass.}}{n}$.

Adunque una stufa magnetica progettata per una determinata differenza di potenziale potrà adattarsi a funzionare identicamente, a produrre lo stesso effetto termico, con una differenza di potenziale diversa, modificandone semplicemente il numero delle spire eccitanti nello stesso rapporto delle due differenze di potenziale.

Questa conclusione presuppone che sia nulla la resistenza ohmica: siccome ciò non è, oltre al ridurre il numero n delle spire quando $E_{mass.}$ diminuisce, occorrerà eziandio di aumentare acconciamente la loro sezione perchè rimanga inalterato il funzionamento del calorifero. Questa sezione si calcolerà in guisa da ammettere una intensità di corrente sensibilmente superiore a quella normale appunto perchè il calorifero possa prestarsi a svolgere quasi la stessa potenza termica sotto cadute di potenziali alquanto diverse.

Le formule (7) e (8) ci dimostrano inoltre che gli stessi apparecchi elettrotermici progettati per una qualunque delle frequenze industriali, di 42, di 46, di 45 e di 50 cicli al minuto ", sempre quando la forza magnetomotrice non ecceda quella corrispondente alla saturazione magnetica, sono nelle condizioni di

produrre sensibilmente le stesse potenze termiche quando sieno alimentati, sotto la medesi madifferenza di potenziale, da correnti di qualsiasi altra frequenza industriale. E invero mentre non ne verrebbe modificata la quantità di calore generata dalle correnti di Foucault, essendo essa proporzionale al quadrato del prodotto della frequenza per la densità magnetica, i quali due fattori sono tra di essi inversamente proporzionali, il calore dovuto all'isteresi varierebbe in ragione inversa dei valori della frequenza elevati a 0,6, valori che risultano non molto diversi per le diverse frequenze industriali.

Invece alimentando gli apparecchi elettrotermici, anzichè colle correnti industriali, con le correnti a bassa frequenza, 17 cicli circa al minuto ", che si impiegano nei nostri impianti di trazione trifase, la loro potenza termica, salvo la limitazione imposta dalla saturazione magnetica, risulta notevolmente accresciuta poichè la produzione del calore in causa dell'isteresi aumenta nel rapporto di 1,7 circa. E' però sempre possibile di ricondurre tale potenza al valore normale coll'accrescere adeguatamente il numero delle spire del circuito di eccitazione.

Devesi infine tener presente che passando dalle frequenze industriali a quella speciale della trazione, aumenta grandemente l'intensità della corrente eccitante.

Determinazione della sezione delle spire.

Infine importa di conoscere quale sia il massimo valore dell'intensità efficace della corrente che circola nelle spire ravvolgenti il nucleo per determinare la sezione trasversale di esse.

Si premette che codesta corrente I può essere scomposta in due: destinata l'una a tener desti nel nucleo i due flussi magnetici alternativi simmetrici nel tipo di calorifero considerato, e l'altra a produrvi il calore che l'apparecchio deve fornire all'ambiente. La prima I_1, che diremo *corrente magnetizzante*, sarà in quadratura colla differenza di potenziale E del calorifero e non provocherebbe perciò in questo alcun consumo di energia se fosse realmente nulla, come si è supposto, la resistenza ohmica della spirale di eccitazione. Invece praticamente questa resistenza interna non essendo trascurabile, tale corrente magnetizzante, giusta la legge di Joule, vi svolgerà del calore, che però sarà utilizzato a riscaldare l'ambiente. Inoltre la stessa corrente magnetizzante avrà pure per effetto di svolgere del calore nelle resistenze ohmiche degli apparecchi di generazione e di trasformazione, nonchè nei conduttori da cui il calorifero é alimentato, il quale calore, fatta solo eccezione del caso in cui questi apparecchi e conduttori sieno situati nell'ambiente da riscaldare, sarà o nella totalità o in parte dissipato.

Da qui si scorge come giovi nella generalità dei casi, nei riguardi del rendimento, di rendere per quanto possibile tenue la accennata corrente magnetizzante. Anche sotto il rispetto dell'economia dell'impianto di generazione e distribuzione dell'energia consumata nel calorifero é utile che questa corrente magnetizzante sia la minima possibile.

La seconda corrente I_2 sarà invece in concordanza di fase colla differenza di potenziale E, talchè la potenza consumata nel calorifero sarà in ciascun istante eguale a EI_2. Tale potenza elettrica è evidentemente equivalente a quella che sotto

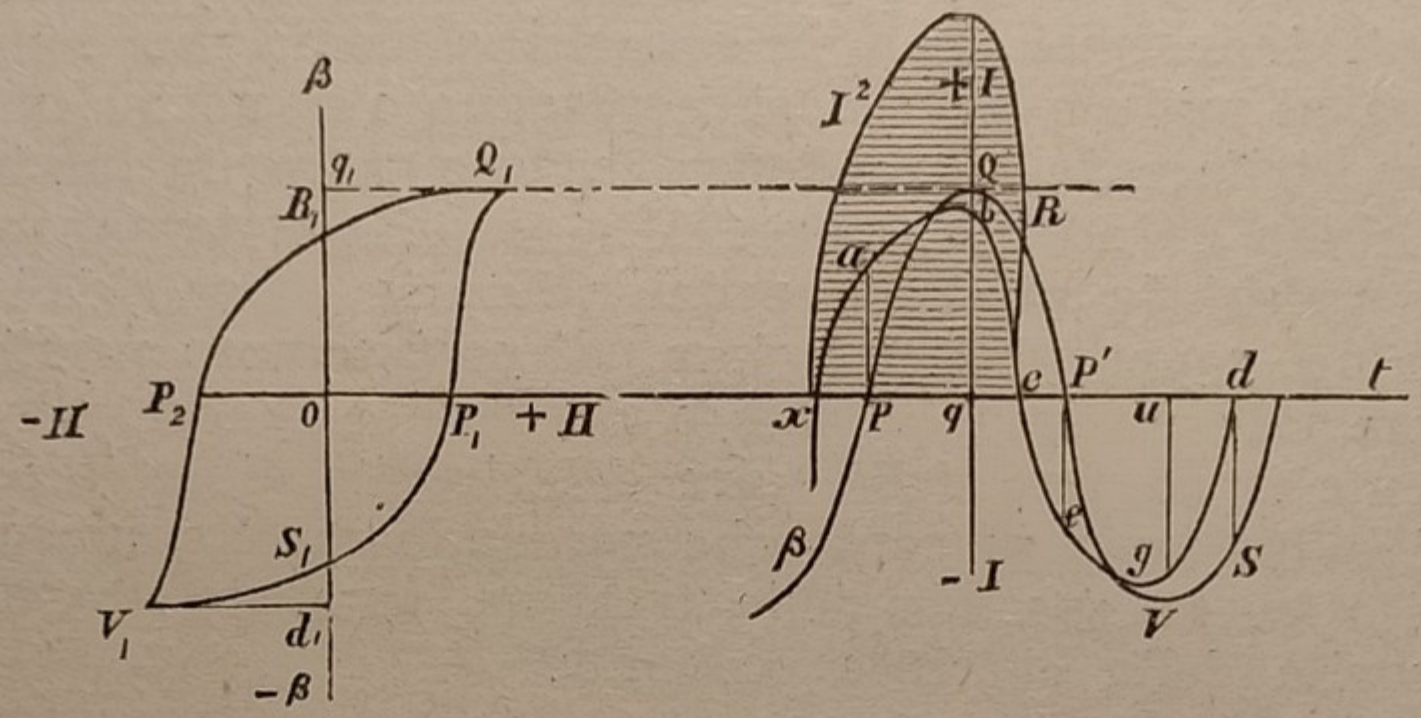


Fig. 101. — Ciclo dell'energia termica del calorifero e diagramma dell'intensità della corrente che vi circola nella spirale di eccitazione.

O *H* - asse delle forze magnetizzanti. O β - asse delle densità magnetiche. *x t* - asse dei tempi. *q* I - asse delle densità magnetiche e delle intensità di corrente. B P Q P′ V S - ciclo del flusso magnetico. V_1 P_2 Q_1 P_1 V_1 - ciclo dell'energia termica. *x* I^2 *c* - diagramma del quadrato della corrente. *x a b c e g d* - diagramma della corrente.

forma di calore si svolge sia nel nucleo e sia nel circuito di eccitazione.

E' chiaro che essendosi supposta sinusoidale col tempo la differenza di potenziale operante ai capi di questo circuito, in causa dell'isteresi, delle correnti di Foucault e della variabilità della permeabilità magnetica del nucleo, l'intensità della corrente che circola nel detto circuito non sarà in generale un'armonica semplice col tempo, ma avrà durante il ciclo dei valori che potranno essere rappresentati dalla curca *x a b c e d g* della fig. 101.

Supponendo invece che sia sinusoidale, si potrà stabilire le relazione

$$I_{eff} = 0{,}707 \sqrt{I_1^{2}{}_{mass.} + I_2^{2}{}_{mass.}}$$

Per trovare $I_{2\,mass}$, ritenendo che sia nulla la dispersione del

flusso magnetico, si ponga il valore di n dato dalla formola (8) nella espressione

$$I_1 mass. = \frac{E mass.}{2 \pi f L_s} = \frac{10^9 l E mass.}{8 \pi^2 f n^2 \mu S} .$$

Risulterà

$$I_1 mass. = \frac{l f S B^2 mass.}{2 \times 10^7 E mass. \mu} , \qquad (9)$$

ove μ deve avere il valore corrispondente a $B_{mass.}$

Ponendo nella formola (9) i precedenti valori, risulterebbe per $I_{1\ mass.}$ il valore inammissibile di 17,6 ampère, ritenuta eguale a 300 la permeabilità della ghisa a 6000 gauss. Converrà pertanto, ammesso che non si voglia cambiare nè la natura del nucleo, nè la differenza di potenziale operante sul suo avvolgimento, di adottare una massima densità magnetica inferiore, ad es., quella di 300 gauss, a cui corrisponderà la permeabilità magnetica 900. La sezione longitudinale del nucleo aumenterà del 50 per cento circa; il numero delle spire si eleverà press'a poco nel rapporto $\frac{4}{3}$ e l'intensità massima per contro si ridurrà a poco più di $\frac{1}{7}$ e cioè a 2,41 ampére.

Si supponga che sia $I_{1 mass.} = 2,41$ ampère circa, onde risulterà

$$I_{1 eff} = 0.707 \times 2,41 = 1,7 \quad \text{id.} \quad \text{id.}$$

Ammettendo che a base delle calcolazioni che servirono alla determinazione di $I_{1 eff}$ si sieno assunti $Q = 3000$ calorie all'ora e $E_{eff} = 150$ volta, si otterrà:

$$I_{eff} = \sqrt{(1,7)^2 + \left(\frac{3000}{3600} \frac{4170}{150}\right)^2} = 23,21 \text{ ampère circa.}$$

Conosciuta l'intensità efficace della corrente si potrà determinare facilmente la sezione del rispettivo conduttore: tuttavia sarà bene di tenere presente quanto si dirà prossimamente (vedi pag. 132).

Altro modo di determinare l'intensità della corrente.

Se è data la curva della permeabilità in funzione della induzione, ricordando che B è sinusoidale col tempo, essendo per ipotesi sinusoidale col tempo la differenza di potenziale da cui B è generato, si potrà descrivere il diagramma dei valori di I_1^2, dal quale si potrà poi desumere $I_{1\ eff}$.

E infatti, sia $\mu\ \mu_1$ (fig. 102) il diagramma che rappresenta nelle sue ascisse i valori della densità magnetica e nelle sue ordinate i corrispondenti valori della permeabilità. Sia 6000

gauss la massima intensità magnetica che vuolsi provocare nel nucleo. Si tracci una sinusoide qualunque $o\,n$, che rappresenterà l'intensità magnetica rispetto al tempo, la quale abbia per massima freccia $m\,n = o\,b$. Si divida il segmento $o\,b$ in un determinato numero di parti uguali, ad es., 12; altrettanto si faccia rispetto alla freccia $m\,n$; dai diversi punti di divisione del segmento $o\,b$ si tirino le parallele all'asse $o\,\mu$; e così pure dai diversi punti di divisione della freccia $m\,n$ si tirino le parallele all'ascissa $o\,t$. Si considerino nelle due figure le coppie dei punti p e q, r e s, ecc., che esprimono la stessa densità magnetica. Il rapporto tra $o\,p$ e $p\,\mu_p$ rappresenterà in una scala adatta l'intensità elettrica corrispondente al valore $o\,p$ dell'induzione. Ma tale rapporto è uguale alla cotangente dell'angolo $p\,o\,\mu_p$. Se pertanto si tirano le ordinate che passano pei punti q, s, ecc., e si portano su di esse dei segmenti $q_1\,q_2$, $s_1\,s_2$, ecc., proporzionali ai quadrati delle cotangenti degli angoli $b\,o\,\mu_p$, $b\,o\,\mu_q$, ecc., si otterrà una linea $o\,q_2\,s_2$ ecc., che determina colle rette $o\,m$ e $m\,n$ un'area, la quale sarà proporzionale alla somma dei quadrati delle intensità elettriche durante un quarto di periodo. Dividendo quest'area pel segmento $o\,m$ e estraendo la radice quadrata del quoziente che ne risulta, si otterrà l'intensità efficace della corrente magnetizzante.

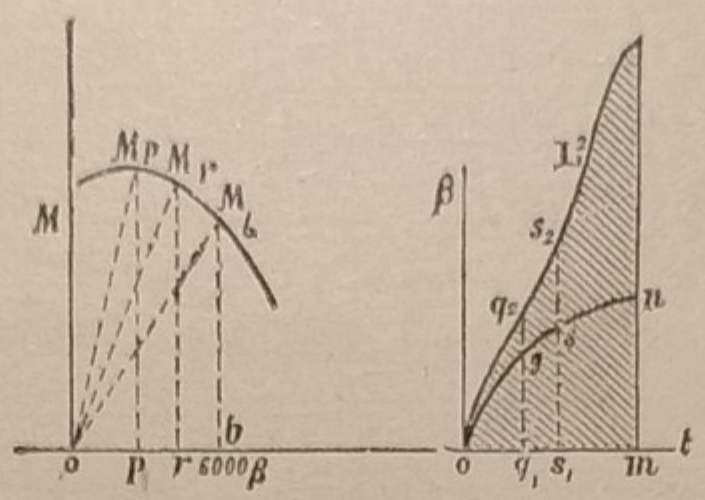


Fig. 102. — Determinazione grafica dell'intensità efficace della corrente magnetizzante in base al diagramma della permeabilità magnetica in funzione dell'induzione.

Influenza del disperdimento magnetico.

Per analizzare l'influenza del disperdimento magnetico, si ammetta che non vi sia dispersione nel tratto del circuito magnetico che é avvolto dalla spirale (V. fig. 96 a 98) e si ritenga che il flusso esternamente a tale spirale si suddivida in quattro derivazioni, di cui due passino nel nucleo magnetico e le altre due nell'aria, costituendo così queste due ultime il flusso disperso. Occorre subito osservare che questo flusso ha per effetto di diminuire la caduta di forza magnetomotrice ai capi del tratto di circuito magnetico avvolto dalla spirale. Perciò, affinchè tale caduta rimanga quella stessa che è suscettibile di generare il medesimo flusso utile $\frac{BS}{2}$ nella ipotesi che sia nullo il disperdimento, occorrerà di elevare convenientemente la forza magnetomotrice. Di quanto dovrà questa all'uopo essere aumentata? Il dislivello di forza magnetomotrice occor-

rente a produrre il flusso utile $\frac{BS}{2}$ quando non vi è dispersione, é espresso da

$$\frac{4\,\pi\,n\,I_1}{10} - B\,S\,R,$$

essendo R la riluttanza della parte del circuito magnetico che è circondata dalla spirale, riluttanza che si conoscerà essendo note le dimensioni del tramezzo del nucleo. In causa del disperdimento, il dislivello di forza magnetomotrice nella stessa parte del circuito sarà eguale a

$$\frac{4\,\pi\,n'\,I'_1}{10} - (B\,S + \varphi)\,R',$$

chiamando φ il flusso disperso e R' la riluttanza, che sarà diversa di R, perchè essendo aumentata la densità magnetica, sarà pure diminuita la permeabilità in detta parte del circuito.

In base alla analogia già ammessa tra i flussi elettrici e quelli magnetici, si potrà stabilire la equazione

$$\frac{4\,\pi\,n'\,I'_1}{10} - (B\,S + \varphi)\,R' = (B\,S + \varphi)\,\frac{R_1\,R_2}{2\,(R_1 + R_2)}, \qquad (10)$$

essendo rispettivamente R_1 e R_2 le riluttanze comuni alle due derivazioni nel metallo e alle due derivazioni nell'aria. R_1 è noto essendo date le dimensioni del nucleo. Il flusso φ essendo dovuto allo stesso dislivello di forza magnetomotrice a cui è dovuto il flusso $B\,S$, si potrà determinare, assumendo la riluttanza R_2, mercè la relazione

$$B\,S\,R_1 = \varphi\,R_2,$$

da cui ricavasi

$$\varphi = \frac{B\,S\,R_1}{R_2}.$$

Quanto a R_2, da ricerche esperimentali da noi fatte pel calorifero rappresentato dalle figure 96 a 98, risulta essere approssimativamente eguale a $\frac{H\,\lambda^2}{4\,A}$, essendo λ la metà del contorno esterno della sezione trasversale del nucleo, H l'altezza di questo e A l'area compresa nel detto contorno. Per gli altri tipi di caloriferi magnetici, R_2 si potrà desumere tracciando il contorno del flusso presubilmente disperso.

Conoscendosi ora φ, si potrà pure determinare la riluttanza R', sapendosi quale sia il valore della permeabilità corrispondente alla densità magnetica $B_{mass.} + \frac{\varphi_{mass.}}{S}$. E così nell'equazione (10), che si potrà mettere sotto la forma

$$\frac{4\,\pi\,n'\,I'_{1\,mass.}}{10} = B_{mass.}\,S\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)\left[R' + \frac{R_1\,R_2}{2\,(R_1 + R_2)}\right], \qquad (11)$$

ove R', R_1 e R_2 avranno i valori corrispondenti alla densità magnetica massima, saranno incogniti soltanto n' ed $I'_{1\,mass.}$ Per dedurre i valori di n' e di $I'_{1\,mass.}$ bisognerà evidentemente stabilire una seconda relazione tra n' ed $I'_{mass.}$. A tal fine si consideri che il coefficiente di autoinduzione, che è

$$L_s = \frac{10^7 \, E^2_{mass.} \, \mu}{\pi \, f^2 \, l \, S \, B^2_{mass.}}$$

quando non vi è dispersione di flusso, diventa

$$L'_s = \frac{10^7 \, E^2_{mass.}}{\pi \, f^2 \, B^2_{mass.} \, S^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)^2 \left| \underline{R'} + \frac{R_1 \, R_2}{\underline{2 \, (R_1 + R_2)}} \right|},$$

allorchè questa verificandosi rimane inalterato il valore del flusso nella parte del nucleo esterno alla spirale. Si avrà pertanto la relazione

$$I'_{1\,mass.} = \frac{E}{2 \pi f L'_s} = \frac{f \, B^2_{mass.} \, S^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)^2 \left| \underline{R'} + \frac{R_1 \, R_2}{\underline{2 \, (R_1 + R_2)}} \right|}{10^7 \, E_{mass.}}. \quad (12)$$

Le equazioni (11) e (12) permetteranno di ottenere i valori numerici di n' e $I'_{1\,mass.}$ Evidentemente, la densità del flusso essendo più elevata nella parte del nucleo che è avvolta dalla spirale, ivi si dovrà produrre una maggiore quantità specifica di calore.

Si può pure apprezzare l'influenza del disperdimento del flusso magnetico considerando che, in causa di questo disperdimento, la differenza di potenziale elettrico $E_{ma.s.}$ non sarà tutta impiegata a produrre il flusso utile. Perciò nella formola (8) in luogo di $E_{mass.}$, riflettendo che i due flussi, quello utilizzato e quello disperso, sono in concordanza di fase, si dovrà porre $E_{mass.} - e_{mass.}$, essendo

$$e_{mass.} = 2 \pi f n \varphi_{mass.} = 2 \pi f \frac{B_{mass.} \, S \, R_1 \, n}{10^9 \, R_2},$$

perchè essa dia il valore n nel caso in cui si consideri il disperdimento del flusso.

Quanto al valore di $I_{1\,disp.}$ esso si potrà ottenere dalla formola (9) in cui si ponga $E_{mass.} - \frac{2 \pi f B_{mass.} S R_1 n}{10^9 R_2}$ in luogo di E_{mass}

E' superfluo di aggiugere che nel tipo di calorifero rappresentato dalle figure 106 e 107 (pag. 133) è pressochè nulla la dispersione del flusso.

Influenza della resistenza elettrica interna.

Sarà bene farsi un concetto dell'errore da cui può essere affetto il valore della differenza di potenziale che opera nel nucleo supponendo nulla la resistenza ohmica della spirale di eccitazione.

Ricordisi l'espressione

$$E = R\,I + n\,\frac{d\,\psi}{d\,t},$$

Evidentemente il valore massimo del 1° termine del 2° membro di questa equazione è $R\,I_{mass.}$. Considerando che

$$\psi_{mass.} = \frac{4\,\pi\,n\,I mass.}{R} \qquad \left(\frac{d\,\psi}{d\,t}\right)_{mass.} = \frac{4\,\pi\,n\,\omega\,I mass.}{R},$$

essendo ω la pulsazione e R la riluttanza, il valore massimo del 2° termine del 2° membro dell'equazione risulterà eguale a $\frac{4\,\pi\,n^2\,\omega\,I mass.}{R}$.

Il rapporto tra i due valori massimi accennati sarà adunque eguale a $\frac{R\,R}{4\,\pi\,n^2\,\omega}$.

Si consideri un calorifero a cui corrispondano le seguenti caratteristiche:

Spire di eccitazione disposte tutte in serie . . .	N. 70
Lunghezza totale della spirale di eccitazione . .	70 m.
Diametro della sezione della spirale id.	2,5 mm.
Resistenza a 100° C. id.	R = 0,35 ohm
Lunghezza del circuito magnetico	176 cm.
Sezione del circuito magnetico	56 cm.²
Permeabilità magnetica (corrispondente a 4000 gauss)	μ = 800

Riluttanza $R = \frac{176}{800 \times 56}$

Frequenza = 42; e però $\omega = 2\pi \times 42 = 263{,}76$.

Per questo calorifero l'anzidetto rapporto risulterà espresso da

$$\frac{0{,}32 \times 176 \times 10^9}{4\,\pi \times 800 \times 56 \times 263{,}76 \times 70^2} = 0{,}056.$$

Giova però osservare che ammettendo nulla la resistenza ohmica delle spire e ritenendo perciò che la differenza di potenziale efficace cui è dovuto il flusso alternativo sia superiore a quella che è realmente, si assegna a n un valore superiore a quello che gli compete, talchè la produzione termica nel nucleo risulterebbe inferiore a quella prefissa; ma d'altra parte nel circuito di eccitazione si genera, in forza della legge di Joule, del calore che tende a compensare una tale deficienza. L'errore che si commetterebbe nel trascurare la resistenza ohmica sa

rebbe adunque minore di quanto a prima giunta si potrebbe supporre.

Intorno al fattore di potenza.

Il valore del fattore di potenza, del rapporto cioè tra la potenza reale e quella apparente, rapporto che denominammo γ, per una stessa stufa e per una stessa differenza di potenziale come varia colla potenza termica?

Evidentemente da un lato esso aumenta col crescere della potenza termica perchè con questa cresce la corrente che è in concordanza di fase colla differenza di potenziale operante, mentre d'altro lato diminuisce colla potenza stessa, essendochè l'incremento di questa è provocato da un aumento nella densità magnetica, per conseguire il quale occorre una maggior corrente di eccitazione tanto più quando colla densità magnetica aumenta pure la riluttanza.

Non si può pertanto dire a priori, senza conoscere la legge che pel nucleo adottato lega la permeabilità alla densità magnetica, come vari γ in funzione della potenza.

Considerasi il caso in cui alla densità magnetica di 6000 gauss nel nucleo corrispondano

$E_{eff} = 75$ volta ai morsetti,
2000 calorie all'ora prodotte dalla corrente di Foucault e
427 » » » dall'isteresi,
70 spire eccitanti,
$I_{1eff} = 1{,}157$ ampère,

e si supponga che non vi sia dispersione di flusso magnetico. Sarà

$$\gamma = \frac{\frac{2427}{3600} \times \frac{4170}{75}}{\sqrt{(1{,}157)^2 + \left(\frac{2427}{3600} \times \frac{4170}{75}\right)^2}} = 0{,}99.$$

Elevando a 7000 gauss la densità magnetica, le anzidette quantità di calore si innalzeranno rispettivamente a $2000 \left(\frac{7}{6}\right)^2$ calorie e $427 \left(\frac{7}{6}\right)^{1,6}$ calorie; mentre il numero delle spire eccitanti diventerà eguale a $70 \times \frac{6000}{7000} = 60$.

Si avrà pertanto

$$I_{1eff} = 1{,}157 \frac{220 \times 7^2}{200 \times 6^2} \text{ ampère,}$$

ritenuta di 200 la permeabilità magnetica corrispondente a 7000 gauss, e conseguentemente

$$\gamma = \frac{\frac{417}{3600 \times 7{,}5}\left[2000\left(\frac{7}{6}\right)^2 + 427\left(\frac{7}{6}\right)^{1.6}\right]}{\sqrt{\left(1{,}157\,\frac{11 \times 7^2}{10 \times 6^2}\right)^2 + \left[\frac{417}{3600 \times 7{,}5}\left(2000\left(\frac{7}{6}\right)^2 + 427\left(\frac{7}{6}\right)^{1.6}\right)\right]^2}} = 0{,}98.$$

Tenendo conto del disperdimento del flusso, γ diminuirà evidentemente. Per determinarne il valore bisognerà rettificare I_{1eff} nel modo che si disse (V. pag. 126).

Aggiungeremo infine che il fattore di potenza, determinato esperimentalmente, per le stufe *Verole* con nuclei di ghisa non risultò mai inferiore, per qualunque attività termica, all'85 %, mentre raggiunse frequentemente il 95 %.

Influenza della natura del nucleo.

Riesce facile il vedere come per ridurre l'intensità efficace della corrente allo scopo di economizzare nella sezione dei conduttori sia conveniente di adottare una densità magnetica massima non troppo elevata affinchè risulti alta la permeabilità magnetica del nucleo. Diminuendo il valore della induzione magnetica massima, si dovrà però accrescere la sezione del nucleo, ammesso che sia sempre della stessa forma e natura ed abbia la identica superficie trasmettente, a parità, ben s'intende, di differenza di potenziale, frequenza, temperatura e potenza. La sezione, e quindi il peso, del nucleo aumenterà tuttavia meno rapidamente di quel che decresca $B_{max.}$. Inoltre poichè per questa cagione il numero delle spire in serie dovrà aumentare con codesto peso, la corrente eccitante diminuirà non solo perchè aumenta il peso e la permeabilità magnetica del nucleo, ma anche perché aumenterà il numero delle spire in serie che lo avvolgono.

Impiegando in luogo della ghisa un materiale più permeabile, ad esempio l'acciaio Robert, ritenendo che la resistività sia la stessa pei due metalli,, siccome il coefficiente η di cui si fece cenno a pag. 115 discende a 0,004 circa giacchè agli acciaj con basso tenore di alluminio corrisponde una debole isteresi, lo spessore del nucleo, con pari densità magnetica massima e potenza termica, dovrebbe essere alquanto aumentato. Per effetto della maggior sezione del nucleo dovrà essere minore il numero delle spire magnetizzanti, e in conseguenza di queste due cause concomitanti la corrente di magnetizzazione tenderà a crescere proporzionalmente allo spessore del nucleo.

Per la ragguardevole maggior permeabilità magnetica, risulterà però notevolmente minore l'intensità efficace di tale cor-

rente e conseguentemente la sezione ed il peso della spirale di eccitazione. Si economizzerà in tal guisa del rame; ma per contro si incontrerà una maggiore spesa nell'acquisto del nucleo, essendo, come è ben noto, l'acciaio Robert assai più caro della ghisa.

Si espone qui sotto un parallelo tra un nucleo di ghisa ed uno di acciaio dolcissimo (vedi diagramma 103) prescindendo dalla dispersione del flusso magnetico e dalla resistenza ohmica delle spirali.

Confronto tra un nucleo d'acciaio dolce e un nucleo di ghisa della medesima forma e superficie che debbano fornire la stessa potenza termica con pari differenza di potenziale efficace, frequenza e densità magnetica specifica.

Coefficiente di isteresi { acciaio dolce, fuso, ricotto 0.004
ghisa 0,016

Resistività — pari (1).

Densità magnetica specifica — 5000 gauss.

Permeabilità magnetica a 5000 gauss { acciaio dolce 4800
ghisa 500

Frequenza — 42.

Acciaio dolce. *Ghisa.*

$$Q = C\,s\left(\frac{16\,s^2 f\,B^2_{mass.}}{\overline{10}^{12}} + \frac{0{,}004\,B^{1{,}6}_{mass.}}{\overline{10}^{7}}\right) \Big\| Q = C\,s_1\left(\frac{16\,s_1^2 f\,B^2_{mass.}}{\overline{10}^{12}} + \frac{0.016\,B^{1{,}6}_{mass.}}{\overline{10}^{7}}\right)$$

$$\frac{16\,s^3 f\,B^2_{mass.}}{\overline{10}^{12}} + \frac{0{,}004\,s\,B^{1{,}6}_{mass.}}{\overline{10}^{7}} = \frac{16\,s_1^3 f\,B^2_{mass.}}{\overline{10}^{12}} + \frac{0.016\,s_1\,B^{1{,}6}_{mass.}}{\overline{10}^{7}}$$

Da questa equazione si ricava:

$$s^3 + 0{,}02\,s - s_1^3 - 0{,}08\,s_1 = 0.$$

Supponendo $s = 0.6$ cent., si otterrà un solo valore reale di s che sarà uguale a 0,63 cent. La differenza tra s e s_1 è adunque assai lieve. Se si ammette che la resistività della ghisa sia 4/3 quella dell'acciaio dolce, i valori di s e s_1 saranno pure poco discosti, ma risulterà s inferiore a s_1.

$$n = \frac{E_{mass.}}{C_1\,s\,B_{mass.}} \quad \| \quad n_1 = \frac{E_{mass.}}{C_1\,s_1\,B_{mass.}}$$

---

(1) L'acciaio contenendo una minore percentuale di carbonio della ghisa avrà in generale una resistività inferiore a quella della ghisa. La resistività dell'acciaio, al pari di quella della ghisa, varia evidentemente colla composizione chimica del metallo e colla quantità, con la forma e con le dimensioni delle cavità che si riscontrano nella sua massa nonchè colla natura dei gas che in queste sono racchiusi. Secondo H. Le Chatelier e Mahler la resistività dell'acciaio aumenta di 7 microohmcent per ogni aumento di 1 p % di carbonio (C) e di 5 microohmcent. per ogni aumento di 1 p % di manganese (Mn) e se il metallo non racchiude dei gas può essere espressa in microohmcent. dalla formola 10+7C+5Mn.

La resistività, al pari dell'isteresi, è pure influenzata dal trattamento termico e meccanico cui il metallo sia stato preventivamente sottoposto.

Da queste due equazioni si deduce

$$\frac{n}{n_1} = \frac{s_1}{s}.$$

Pertanto la differenza tra n e n_1 sarà pure assai lieve.

$$I_{eff} = \frac{C_2}{n^2 s \times 4800} \quad \| \quad I_1 eff = \frac{C_2}{n^2_1 s_1 \times 500}.$$

Infine da queste due espressioni si deduce:

$$\frac{I_{eff}}{I_1 eff} \frac{n^2_1 s_1 \times 500}{n^2 s \times 4800} = \frac{s^2}{s^2_1} \frac{s_1}{s} \frac{500}{4800} = \frac{s}{s_1} \frac{50}{4800} = \frac{1}{9,6} \text{ circa.}$$

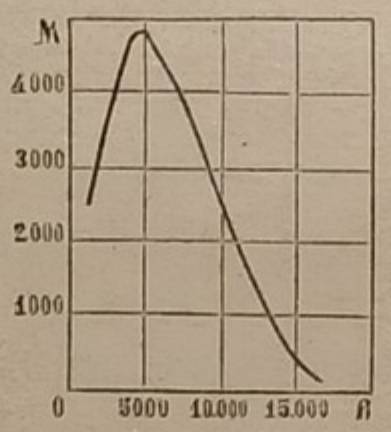


Fig. 103. — Diagramma della permeabilità in relazione all'induzione dell'acciaio Robert.

Da qui si vede come pel nucleo di acciaio dolce risulti assai minore la corrente in quadratura che non pel nucleo di ghisa. La corrente in concordanza di fase dovrà evidentemente essere la stessa nei due casi. Il fattore di potenza pel nucleo d'acciaio dolce riescirà poco discosto dall'unità.

Considerazioni sul circuito di eccitazione.

Fino ad ora si è ritenuto che le spire di eccitazione siano tutte collegate in serie; ma esse si possono pure congiungere in quantità e per gruppi, ed è evidente che ciò facendo si otterranno ancora altri valori della potenza termica del calorifero. In proposito ci facciamo però premura di aggiungere senza indugiarci a darne la dimostrazione, che non si può ottenere alcun vantaggio nel costituire il circuito di eccitazione con delle spire che non siano tutte disposte in serie (fig. 104 e 105). Chi desiderasse di conoscere tale dimostrazione, alquanto astrusa, potrà consultare le precedenti edizioni di quest'opera.

Fig. 104. — Spirali magnetizzanti in parallelo e in antagonismo.

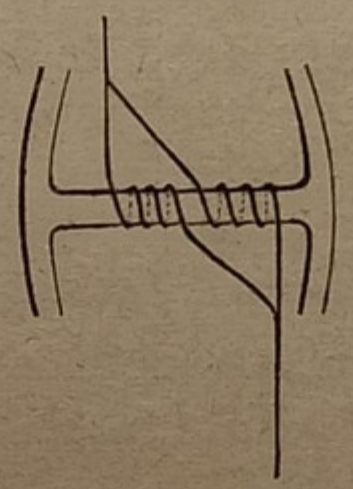


Fig. 105. — Spirali magnetizzanti in parallelo e concordanti.

NB. — Per rendere più intelligibili le figure 104 e 105 si è supposto che le due spirali sieno in prosecuzione, mentre dovrebbero invece sovrapporsi.

Riassumendo, la migliore disposizione delle spire del circuito di eccitazione è quella in serie ed il modo più semplice per regolare l'attività del calorifero é quello di far variare il numero di tali spire.

A riguardo della determinazione della sezione di codeste spire giova osservare quanto segue.

Siccome col diminuire del numero delle spire in serie cresce rapidamente l'intensità della corrente, se la sezione di esse corrispondesse alla corrente da cui sarebbero percorse se fossero tutte inserite nel circuito, il valore di essa sezione potrebbe essere non conveniente ed anche incompatibile col valore che acquisterebbe la corrente allorchè fosse escluso dal circuito quel numero di spire che escludere occorre per avere dal calorifero la massima produzione di energia termica. D'altro lato calcolando la detta sezione in base a questo secondo valore della corrente, si otterrebbe un valore che sarebbe eccessivo nelle condizioni in cui più frequentemente il calorifero funziona. Perciò converrà di adottare per la sezione delle spire un valore intermedio tra quelli corrispondenti ai due casi accennati, sempre quando sia possibile di ricorrere a qualche artificio che consenta di utilizzare in ogni caso tutte le spire al passaggio della corrente in guisa che col diminuire del numero delle spire in serie costituenti il circuito ne venga accresciuta la sezione. E così, ad esempio, nel caso in cui essendo n il numero totale, supposto pari, delle spire in serie, queste si dovessero ridurre a $\frac{n}{2}$, per accrescere la potenza del calorifero, l'artificio consisterebbe nel costituire tanti gruppi di due spire elementari in parallelo e di collegarli tra loro in serie.

Analogamente se le spire in serie dovessero essere ridotte a $^1/_3$ circa, si potrebbero disporre tra loro in serie tanti gruppi di tre spire elementari in parallelo ciascuno quanti sono possibili con un numero di spire elementari eguale al multiplo di tre più prossimo ed inferiore ad n.

E' facile il concepire un commutatore che permetta di effettuare questi differenti collegamenti.

Altre stufe magnetiche.

Alla stufa magnetica si potrà pure assegnare la forma visibile nelle fig. 106 e 107, ove venne indicato solo una parte delle spire; nel qual caso, dopo quanto si disse, assai ovvia ne sarà la calcolazione.

A riguardo di un modello di questo tipo di stufa, a cui corrispondono le seguenti caratteristiche, si ottennero i risultati esperimentali sottoindicati.

Caratteristiche della stufa.

Nucleo di acciaio dolcissimo fornito dalla Fonderia Milanese di Acciaio. { Diametro 350 mm. / Altezza 500 mm. / Spessore 7 mm.

Avvolgimento di rame doppio — numero totale delle spire $65 \times 2 = 130$.

Tensione della corrente di alimentazione 110 volta.

Frequenza id. id. 50.

Disultati esperimentali.

Temperatura del nucleo 100° cent.
idem dell'ambiente 15° cent.
Volta 104 / Ampère 35,5 } 3,69 kilovoltampère.

Potenza misurata Kw. 3,5. Fattore di potenza $\frac{3.5}{3,69} = 0,94$.

Allorchè vuolsi che il calorifero serva anche al riscaldamento dei liquidi converrà costruirlo in conformità alle fig. 108 e 109. Le capacità destinate a contenere i liquidi saranno smaltate o

Fig. 106.

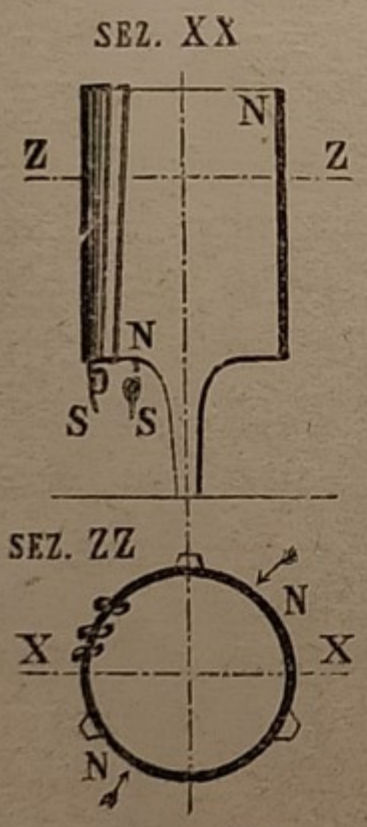


Fig. 107.

Fig. 106 e 107. Altro modello della stufa **Verole.**
N N - nucleo munito di tre sopporti.
S S - spirale

Fig. 108.

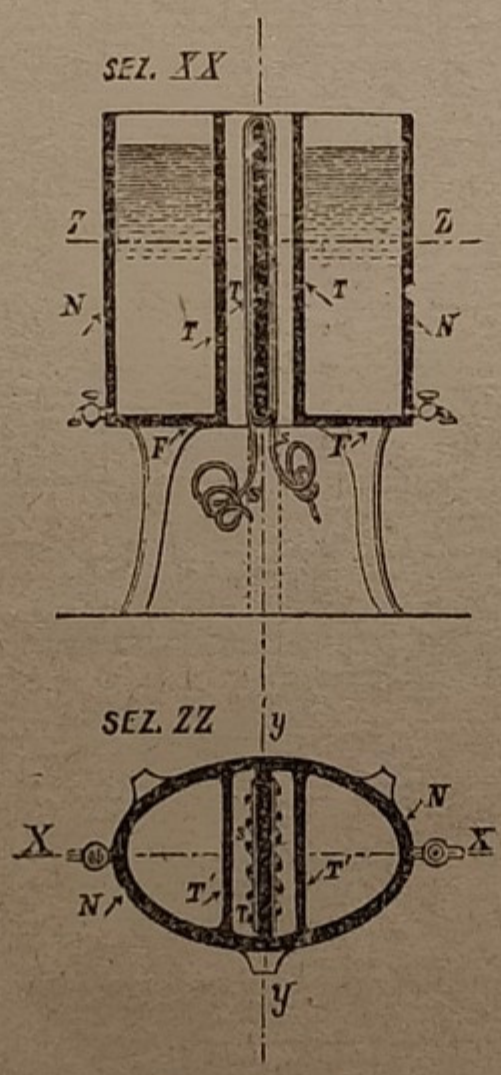


Fig. 109.

Fig. 108 e 109. Apparecchio **Verole** pel riscaldamento simultaneo dei locali e dei liquidi.

T - nucleo su cui è avvolta la spirale S.

N N - parete cilindrica che cede calore all'aria e al liquido.

T', T' - pareti piane che cedono calore all'aria e al liquido

F, F - fondi.

T, T', N N, F, F unitamente ai tre sostegni costituiscono un solo pezzo fuso

stagnate internamente. Il liquido contenuto nel recipiente assumerà in breve la stessa temperatura della parete di questo percorsa e riscaldata dai flussi magnetici alternativi giacchè, come è ben noto, altissimo è il coefficiente di trasmissione del calore da una parete metallica ad un liquido con essa in diretto contatto, come pure ragguardevole è l'effetto convettivo dei li-

quidi che occorre di dover riscaldare pei bisogni domestici. Benchè una notevole parte della superficie del calorifero sia bagnata dal liquido, tuttavia pure sempre ragguardevole risulta quella che in parte per convessione e irradiazione e in parte per sola convessione cede calore all'ambiente.

Il calorifero magnetico, di cui ci siamo occupati, deve essere alimentato da corrente monofase e si denominerà perciò *calorifero a induzione magnetico monofase*. Esso si inserirà in derivazione nel circuito di distribuzione come indica la fig. 2. Nel caso in cui la trasmissione da cui vuolsi attingere l'energia occorrente al calorifero monofase, sia trifase a tensione costante, questo si potrà inserire in un circuito derivato da due qualunque dei conduttori principali della trasmissione trifase (fig. 3 e 4). Se la distribuzione trifase è a stella, la stufa potrà inoltre essere inserita tra il punto neutro o centro della stella ed uno qualunque dei conduttori principali (fig. 5). Se mercé la stessa trasmissione trifase debbonsi alimentare più caloriferi monofasi, si avrà cura di disporli in guisa da caricarla, per quanto più sarà possibile, in modo simmetrico. Ma se la distribuzione trifase è inoltre destinata ad alimentare delle lampade, per ottenere la perfetta simmetria del carico pel riscaldamento, la quale col tipo di calorifero esposto non si potrebbe conseguire se non nella circostanza, non di rado irrealizzabile, che i caloriferi simultaneamente in azione, presupposti identici, siano in numero di tre o di un multiplo di tre e assorbano dalle tre fasi di distribuzione la medesima potenza, converrà servirsi di *caloriferi trifasi*, di cui il più semplice si può concepire sotto la forma di tre elementi identici, sovrapposti e distanziati, inseriti rispettivamente nelle tre derivazioni che si possono desumere fra i tre conduttori principali e se la distribuzione è a stella anche tra questi e il punto neutro.

Secondo la disposizione in triangolo (fig. 4) le stufe monofasi disposte ciascuna in derivazione oppure ciascuno dei tre elementi delle stufe trifasi saranno soggetti ad una differenza di potenziale eguale a quella E_{eff} tra i conduttori della distribuzione trifase. Secondo la disposizione a stella, la differenza di potenziale che opererà o nelle singole stufe o nei singoli loro elementi sarà eguale a 1,732 E_{eff} nel caso in cui siano disposti in derivazione sui conduttori principali e a E_{eff} nel caso in cui sieno inseriti tra questi e il punto neutro. Il rendimento globale risulterà superiore colla disposizione a stella semplice (fig. 5) giacchè, con questa essendo la tensione più elevata, a parità di potenza assorbita dai caloriferi, dovrà essere minore l'intensità della corrente circolante nella rete di distribuzione.

Fig. 110.

Elementi della stufa magnetica trifase **Verole.**

Potrà pure essere opportuno l'impiego di sei (anzichè di tre) elementi disposti rispettivamente due a due in serie nei tre accennati circuiti. Gli elementi potranno essere conformi alla fig. 110.

La teoria del calorifero trifase si può ridurre a quella del calorifero monofase, e però ci asterremo dall'esporla.

Parallelo tra i caloriferi a conduzione e quelli magnelici.

Un parallelo tra i caloriferi magnetici ed altri fondati sulla legge di Joule non sarà inopportuno. Sostanzialmente il calorifero magnetico è esso pure un trasformatore della corrente elettrica in energia termica, questa (prescindendo dall'isteresi che genera del calore per attrito interno) essendovi provocata, giusta la legge di Joule, da tante correnti elettriche che ne percorrono la massa normalmente alla direzione dei flussi magnetici. Esso potrebbe pertanto essere assimilabile ad un calorifero che sia costituito da un gomitolo di filo conduttore nelle cui spire, assai vicine tra di esse, circolino le correnti elettriche. Ma nel primo calorifero, in quello magnetico, le correnti trovano da sè, per così dire, in modo automatico, i loro circuiti; nel secondo, in quello elettrico, occorre isolare perfettamente tra di esse le varie spire per obbligare le correnti a percorrerle, per dirigervele, ed occorre isolarle mediante sostanze che, se non per la loro natura, almeno per le loro dimensioni, sieno abbastanza buone conduttrici del calore, affinchè questo possa portarsi sollecitamente, man mano che si produce, alla periferia del gomitolo per essere ceduto all'ambiente. Il primo calorifero sarà adunque di costruzione assai più semplice e meno costoso del secondo, il quale può essere rappresentato ad esempio da quello caratterizzato dalle resistenze metalliche allogate nel mastice isolante (v. pag. 73); mentre potrà inoltre avere una potenza specifica non minore, tutta la sua massa essendo utilizzata per la produzione del calore.

Notisi che il primo apparecchio può funzionare convenientemente a qualsiasi temperatura, purchè non superiore a 600° C., senza che vi si possano produrre dei corti circuiti, mentrechè questi, in causa delle alterazioni e modificazioni che sotto l'azione delle alte temperature possono subirvi le sostanze isolanti, sono possibili col secondo apparecchio.

Rispetto alla stufa costituita da fili o nastri metallici nudi, la stufa magnetica presenta il vantaggio di non subire nella massa destinata a cedere il calore, in causa della sua compattezza, allentamenti permanenti e sensibili alterazioni chimiche sotto l'azione delle alte temperature. Inoltre, a diflerenza dei fili e dei nastri, le deformazioni che vi determinano le variazioni di temperatura, non hanno per effetto di deteriorarla. Certamente

che a parità di materia e di temperature, il calorifero filiforme o a nastro, a cagione della molto maggiore superficie trasmettente calore, avrà una efficenza assai superiore rispetto a quello magnetico. In altri termini, in tale caso la potenza specifica del primo sarà superiore a quella del secondo. Però pel primo non é possibile l'impiego tanto economico di un metallo comune semplicemente fuso; inoltre, non tollerando esso quella temperatura che può impunemente sopportare il secondo, la potenza specifica dei due apparecchi, per la differente temperatura massima che sono suscettibili di assumere, potrà essere non tanto diversa. A questa ultima circostanza non è però il caso di dare grande peso, essendochè, come si disse, salvo casi eccezionali, è bene che la temperatura del calorifero non sia molto alta.

La potenza specifica del calorifero magnetico non risulterà inoltre molto inferiore a quella del calorifero in cui si utilizzano delle resistenze costituite da sottilissimi nastri o veli metallici quando si consideri che, se la massa di questi è tenuissima, essi debbono però essere applicati su pareti abbastanza robuste in sostanza isolante. Pel calorifero magnetico può anche essere più semplice la costruzione e minore la spesa di acquisto e di manutenzione.

Infine sotto nessun rapporto, salvo quello di non poter funzionare che colle correnti alternative, il calorifero magnetico apparirà inferiore ai caloriferi consistenti sia in resistenze metalloceramiche o di silicio, sia in lampade ad arco o ad incandescenza, prescindendo dal caso in cui si vogliano produrre temperature altissime, che per le ragioni già accennate riteniamo inadatte pel riscaldamento continuo delle abitazioni.

Intorno al funzionamento delle stufe magnetiche.

Aggiungasi infine che in base ai concetti suesposti abbiamo disegnato e fatto costrurre parecchi tipi di caloriferi magnetici, monofasi e polifasi, i quali corrisposero sufficientemente alle previsioni della teoria. E' degna di nota la circostanza che i detti apparecchi sono autoregolatori, nel senso che aumentando la loro temperatura diminuisce la potenza elettrica da essi assorbita, e reciprocamente questa cresce non sì tosto la loro temperatura diminuisce.

Un tale fenomeno si può spiegare in parte colla considerazione che la resistività del nucleo crescendo colla temperatura, dovrà decrescere con questa, essendo costante la densità magnetica, perchè presupposta costante la differenza di potenziale massima, l'intensità efficace delle così dette correnti parassite svolte nel nucleo, e perciò dovrà pure diminuire la quantità di calore che esse vi generano nell'unità di tempo. E invero,

mentre l'aumento di resistenza dei circuiti di tali correnti tende a provocarvi un aumento proporzionale di calore, per questi poichè vi è evidentemente trascurabile la reattanza a fronte della resistenza ohmica, lo stesso aumento di resistenza determinerà una diminuzione inversamente proporzionale nell'intensità efficace delle correnti stesse. Essendo la potenza termica direttamente proporzionale alla resistenza ohmica ed al quadrato dell'intensità efficace, riesce evidente che essa dovrà decrescere quando aumenta la temperatura.

Una tale conseguenza conduce a ritenere che il coefficiente di Fleming non é una costante per una determinata sostanza magnetica, ma diminuisce coll'aumentare della temperatura di questa sostanza.

Un'altra circostanza non trascurabile concorre ad accentuare la autoregolabilità del calorifero, ed è che la spirale eccitante essendo prossima al nucleo, dovrà risentire delle variazioni che la temperatura di esso subisce. Allorchè questa si eleva, lo stesso avverrà della temperatura della spirale: la sua resistenza ohmica aumenterà e diminuendo perciò gli ampèregiri eccitanti o in quadratura colla differenza di potenziale, diminuirà la densità magnetica massima del flusso magnetico e conseguentemente anche l'intensità delle correnti foucaultiane indipendentemente dall'accennato incremento della resistenza dei loro circuiti. Il reciproco accadrà invece allorchè il nucleo subirà una diminuzione di temperatura.

E' a notarsi che la natura della linea che rappresenta le variazioni della densità magnetica in funzione del tempo, nonostante che la temperatura del nucleo cambi di valore, continuerà ad essere una sinusoide se la differenza di potenziale operante è sinuosoidale e se è piccola a fronte della reattanza la resistenza ohmica della spirale di eccitazione. Le sinusoidi che rappresentano nella medesima scala le densità magnetiche corrispondenti a diverse temperature dello stesso nucleo differiranno soltanto nella freccia: questa dovrà essere alquanto minore quando il nucleo è a 100° C. che non quando è a 50° C.

La permeabilità magnetica del nucleo è pure influenzata dalla sua temperatura, e differentemente influenzata a seconda della densità magnetica. I cambiamenti di temperatura che avvengono nel calorifero esercitano adunque parecchie azioni sulla intensità della corrente totale che circola nella spirale.

Aggiungasi infine che il riscaldamento prolungato esalta il fenomeno d'isteresi, ma che tuttavia l'accennato minor assorbimento di potenza ad alta temperatura non cessa dal riscontrarsi, qualunque sia la durata del funzionamento del calorifero

In vista della autoregolabilità del calorifero potrà accadere che l'intensità della corrente che esso è suscettibile di assorbire a freddo sia notevolmente superiore a quella che vi corrisponde a caldo, durante il periodo di regime; e che perciò

mentre esso sarebbe appropriato in questo secondo caso per una determinata distribuzione di energia, non lo sia più affatto nel primo caso. In tale contingenza, per rendere il calorifero adattabile alla detta distribuzione, basterà di munirlo di un rocchetto repellente, il quale automaticamente sia mantenuto nel circuito del calorifero allorquando questo è a bassa temperatura e vi venga escluso non appena la temperatura si elevi oltre un determinato limite.

Evidentemente la presenza di un tale rocchetto avrà per effetto di prolungare alquanto il periodo di avviamento dell'apparecchio di riscaldamento.

A proposito dell'influenza della temperatura sulla attività termica aggiungeremo che da esperimenti effettuati su una stufa a induzione del tipo Verole sottoposta alla differenza di potenziale di 115 volta efficaci, risultò che la corrente assorbita dalla stufa, mentre era di 10,2 ampére efficaci a 10° C., discese a 6 ampère efficaci a 95° C. Anche esperienze posteriori sui lamierini sottili, dovute a Mordey e Hansard, confermano come le perdite dipendenti dalle correnti di Foucault diminuiscano grandemente col crescere della temperatura.

Ciò posto, é facile il concepire come funzionerà il calorifero magnetico. Suppongasi che questo non abbisogni del rocchetto repellente. Allorché trattasi di avviare il riscaldamento si lascierà inserito nel circuito del calorifero soltanto quel numero di spire di eccitazione al quale corrisponderà la massima corrente ammessa. Il nucleo essendo freddo, vi si produrrà rapidamente una grande quantità di calore che in gran parte si immagazzinerà nel nucleo stesso elevandone in breve notevolmente la temperatura. Divenuta così ragguardevole la differenza tra la temperatura del nucleo e quella dell'aria ambiente, quello cederà attivamente calore a questa. Ma l'aria ambiente riscaldandosi, assorbirà successivamente meno calore, cosicchè la temperatura del nucleo aumenterà e per conseguenza diminuirà la potenza elettrica da esso attinta dalla linea. Se nondimeno il riscaldamento fosse eccessivo, si inseriranno altre spire nel circuito per raggiungere possibilmente il regime desiderato, ed ove ciò non fosse sufficiente, si escluderà dal circuito il calorifero. Diminuirà improvvisamente, durante il funzionamento del calorifero, in causa di variazioni meteorologiche od altro, la temperatura dell'aria ambiente? Il nucleo vi cederà una maggiore potenza calorifica, diminuendo di temperatura, ma non si tosto assorbirà una maggior potenza elettrica dalla linea, tendendo a ricondursi alle condizioni di prima. Se l'autoregolabilità non fosse sufficiente a riparare allo squilibrio termico, si dovra ridurre il numero delle spire inserite nel circuito.

Inoltre non sarebbe difficile di studiare un apparecchio, un termostato, che mantenesse sensibilmente costante (ad es., tra 15° C. e 18° C.) la temperatura dell'ambiente, effettuando esso au-

tomaticamente le inserzioni nel circuito e le esclusioni dal medesimo, sia delle spire di eccitazione del calorifero, come del calorifero stesso.

Infine non devesi tacere che la stufa magnetica produce un ronzio che nei piccoli ambienti ad uso uffici o studi potrebbe anche tornare molesto.

Costo del riscaldamento dei locali.

Il costo del riscaldamento elettrico varia, naturalmente, a seconda dei casi giacchè il prezzo degli apparecchi per la trasformazione dell'elettricità in calore e per l'utilizzazione di questo è influenzato sia dal loro tipo, sia dalla loro efficienza e sia infine dalle condizioni estetiche cui debbono soddisfare; e così pure é differente il costo dell'energia elettrica consumata a seconda delle centrali idroelettriche che la forniscono, a seconda della entità del consumo ed a seconda dei periodi di tempo sia annuali che giornalieri in cui viene richiesta.

Quello che importa di tener presente si è che tutta l'energia elettrica assorbita dagli apparecchi di riscaldamento viene trasformata integralmente, e cioè senza perdite, in calore utile in ragione di 863 calorie per ogni chilowattora consumato.

Quando si consideri che una caldaia a vapore pel riscaldamento centrale produrrà mediamente per ogni chg. di arso (coke) quasi 7 chg. di vapore utile e cioè circa 440 calorie che vengono cedute agli elementi disposti negli appartamenti, si potrà conchiudere che ogni chilogrammo di detto carbone equivarrà negli effetti del riscaldamento a circa 5 chilowattore. Al costo del combustibile devesi naturalmente aggiungere la spesa pel mantenimento e il rinnovamento della caldaia e quella del relativo accudiente. Nessuna assistenza richieggono invece gli apparecchi elettrotermici disposti negli appartamenti, non occorrendo per renderli attivi od inattivi che di fare girare una chiavetta, analoga a quella con cui si ottiene o si estingue la luce elettrica. Nel caso in cui l'energia elettrica serva indirettamente al riscaldamento, alimentando la caldaia di un sistema di riscaldamento a vapore o a termosifone, non si potrà prescindere dall'onere dipendente da questa benchè sia minore rispetto al caso in cui venga alimentata dal combustibile.

Nelle applicazioni in sostituzione del carbone consumato nei caminetti ordinari (riscaldamento per semplice irradiazione del calore) ove l'effetto utile del carbone è intorno al 9 %, ogni chilowattora equivarrebbe a chg. 1,3 circa di arso; e lo stesso risultato termico di un chilowattora produrrebbe il quantitativo di circa grammi 460 di questo medesimo combustibile se fosse consumato nei caminetti a circolazione d'aria, ove il rendimento é mediamente del 25 per cento. Ora l'energia elettrica pel

riscaldamento dei locali si potrà ottenere anche a pochi centesimi il chilowattora specialmente se si ricorrerà all'impiego degli accumulatori elettrotermici. Aggiungasi che il riscaldamento elettrico presenta indubbi vantaggi di igiene, di semplicità, di pulizia e di sicurezza a fronte di altri sistemi si da poter essere preferito a questi anche nel caso che risultasse più costoso. E la luce elettrica non si è forse sostituita a quella del gas nonostante il minor prezzo di quest'ultima? Inoltre, come si disse, il carbone potrebbe non pervenirci dall'estero, mentre le nostre forze idriche che ci forniscono il calore sono perenni.

E' stato osservato che nelle città molto fredde, come ad es. Torino, per riscaldare a mezzo della circolazione dell'acqua calda o del vapore un ambiente della capacità da 70 a 75 metri cubi durante la stagione invernale (120 giorni) occorrono 600 chilogrammi di arso (coke). Computando a L. 110 la tonn. il costo di questo combustibile a domicilio, inclusevi le spese inerenti alla manutenzione, al rinnovamento e alla condotta delle caldaie nelle quali il combustibile viene abbruciato, risulta che si potrebbe ottenere elettricamente lo stesso effetto termico o colla stessa spesa se il costo del chilowattora fosse di lire 0,015, ritenuto che l'onere relativo all'impianto di distribuzione, esclusa la caldaia, e di utilizzazione del calore sia il medesimo pel riscaldamento elettrico e per quello a vapore. E invero per produrre lo stesso effetto termico a mezzo dell'elettricità occorrono mediamente pei 120 giorni chilowatt 1,5, che al prezzo di L. 0,015 il chilowattora importano la spesa di L. 65 circa. Certamente che se molti fossero gli ambienti riscaldati in queste condizioni, eccessivo risulterebbe il carico richiesto alle centrali quando queste dovessero fornire simultaneamente alla utilizzazione, l'energia elettrica che viene trasformata in calore. Fortunatamente però, mercè l'impiego degli accumulatori elettrotermici si potrà richiedere alle centrali l'energia pel riscaldamento durante quei periodi di tempo in cui o nulle o meno ragguardevoli vi sono le richieste di energia per luce e forza. L'impianto di questi accumulatori richiederà una spesa non indifferente ma può offrire per contro il vantaggio di lasciar sempre a disposizione degli inquilini dell'acqua calda pel bagno, pel lavabo e ad uso di bevanda.

Comunque è fuori di dubbio che il riscaldamento elettrico si confà meglio alle esigenze delle centrali generatrici dell'energia elettrica e delle relative distribuzioni nelle applicazioni ai piccoli ambienti nè molto numerosi nè molto freddi che non in quelle ad interi quartieri siti in località ove la stagione invernale sia assai rigida.

Cogliamo l'occasione per osservare che l'elettricità non dovrà mai essere impiegata pel riscaldamento a preferenza o a pregiudizio della produzione della forza motrice o della trazione, giacchè mentre in questo ultimo caso, ad esempio, un

chilowattora determina il risparmio di circa 2 kg. di buon litantrace, nel primo caso esso non consentirebbe che il risparmio di un quinto di chilogrammo o al massimo di mezzo kg. di tale combustibile non essendo evidentemente da consigliarsi, né perciò da prendersi in considerazione, il riscaldamento a mezzo dei caminetti ordinari. Come abbiamo già detto, pel riscaldamento devesi usare soltanto quell'energia elettrica che non può essere altrimenti utilizzata ovvero il cascame dell'energia elettrica impiegata in altre applicazioni.

Si consideri una camera da letto di 64 m.^{3} riparata da altri locali e per la quale occorrano quindi soltanto 10 calorie all'ora per ogni m.^{3}, e cioè in totale 640 calorie all'ora. Si supponga che si possa acquistare il kilowattora al prezzo di lire 0,10, che era generalmente in uso per la vendita dell'energia elettrica per forza motrice; in tal caso il costo della caloriaora sarà di L. 0,10 × 4,17 = L. 0,417; e perciò il costo dell'energia elettrica risulterà di L. $\frac{0,417 \times 640}{3600}$ = 0,075 all'ora. Non è questa evidentemente una spesa proibitiva.

Se il costo del kilowattora non fosse che di L. 0,015, giusta le tariffe delle centrali idroelettriche del Niagara, il prezzo della caloriaora discenderebbe a L. 0,0625 e quello del riscaldamento della stanza considerata a L. 0,0113 all'ora.

Colla stessa spesa potrebbe ottenere il riscaldamento per proprio uso l'industriale che attingesse l'energia all'uopo occorrente da una installazione idroelettrica destinata a fornire la potenza motrice al suo stabilimento.

A Davos, in Svizzera, ove l'energia elettrica costa L. 0,025 il kilowattora, si è riconosciuto che il riscaldamento elettrico di intere villette può sostenere anche dal lato economico la concorrenza col riscaldamento a vapore ottenuto col combustib

Infine, quanto alla spesa d'impianto, il riscaldamento elettrico non può richiederla superiore a quella inerente a qualsiasi altro buon sistema di riscaldamento.

In questi confronti si sono presi in considerazione i prezzi dell'antiguerra chè i prezzi attuali sono troppo incerti e variabili per dedurne delle conclusioni, nè è possibile di prevedere quali saranno i prezzi nel periodo di assestamento economico che seguirà il presente periodo transitorio e caotico. E' però lecito di ritenere che il costo del riscaldamento idroelettrico aumenterà, ma aumenterà molto meno di quello del riscaldamento prodotto dalla combustione rispetto ai corrispondenti costi dell' antiguerra.

Denaturatori della corrente elettrica.

E quì ci viene in acconcio di notare che si sono proposti dà Arnò e da altri degli apparecchi, detti *denaturatori* della cor-

rente elettrica, i quali hanno lo scopo di impedire che l'energia elettrica acquistata a basso prezzo per produrre del calore sia invece impiegata nell'illuminazione o nei trasporti di forza. Questi apparecchi consistono essenzialmente in meccanismi di orologeria i quali interrompono periodicamente per un intervallo di qualche minuto i circuiti elettrici destinati all'alimentazione degli apparecchi elettrotermici talchè la corrente fornita a questi risulti inadatta per qualsiasi applicazione che non sia quella del riscaldamento. E invero una corrente intermittente può sempre produrre del calore, mentre non si presterebbe ad azionare delle lampade e dei motori.

Tuttavia anche nell'applicazione al riscaldamento la corrente intermittente non sarebbe scevra di inconvenienti giacchè avrebbe per effetto di ridurre la efficienza degli apparecchi elettrotermici e di non permettere di utilizzare tutta la disponibilità dell'energia senza moltiplicare il numero di questi. Inoltre i denaturatori della corrente risultano necessariamente alquanto complicati e costosi. Per queste ragioni essi non ricevettero delle applicazioni pratiche.

Utilizzazione dell'energia termica gratuita.

Le suesposte deduzioni sul costo del riscaldamento elettrico presuppongono che l'energia elettrica trasformandosi in calore non possa produrre che circa 863 calorie per ogni chilowattora. Orbene giova rilevare che é possibile consumando dell'energia elettrica di ottenere del calore in una assai maggiore proporzione sottraendolo da corpi ove trovasi a bassa temperatura per portarlo, previa elevazione di questa, ad altri corpi destinati ad essere riscaldati. Il calore che così si può raccogliere non è evidentemente dovuto al principio dell'equivalenza delle energie, al quale sono informati tutti gli apparecchi elettrotermici in uso: esso è quello che già trovasi disponibile nell'ambiente e mercè l'impiego dell'energia elettrica come forza motrice può essere elevato alla temperatura adatta per la sua utilizzazione a scopo di riscaldamento. Si può teoricamente dimostrare che in tal guisa a mezzo di un chilowattora si possono ottenere financo circa 1.700 calorie.

Sfortunatamente per raggiungere un tale scopo occorrono degli impianti alquanto complessi e costosi. Tali impianti che ancora non furono sanzionati dalla pratica sarebbero analoghi a quelli frigoriferi destinati alla fabbricazione del ghiaccio. Uno stesso impianto potrebbe anzi servire per la produzione del ghiaccio durante l'estate e pel riscaldamento degli ambienti durante l'inverno.

II.

Riscaldamento dei liquidi e delle vivande.

I vantaggi relativi alle stufe elettriche che furono accennati al principio di questo libro sussistono pure a riguardo delle cucine elettriche (figure 111 e 112). Di più il quantitativo di energia elettrica necessario per la cucinatura degli alimenti essendo relativamente piccolo, ancorchè sia acquistato a prezzo non eccezionalmente basso, richiederà una spesa poco rilevante

Fig. 111. — Cucina elettrica

a fronte di quella delle vivande confezionate, a comporre la quale contribuiscono, oltre il costo del calore, quello delle materie prime, degli ingredienti e della mano d'opera. E pertanto, mentre il costo dell'energia elettrica potrebbe rendere proibitivo il riscaldamento elettrico delle abitazioni, giacchè per questo la spesa di esercizio dipende quasi solo da quella della quantità,

assai rilevante, dell'energia elettrica consumata, tale prezzo influendo assai meno sul costo complessivo delle vivante cucinate, non ostacolerà la diffusione della cucinatura elettrica, in considerazione specialmente dei pregi che essa presenta.

Fig. 112. — Altra cucina elettrica

* * *

Il riscaldamento dei liquidi e delle vivande non si può produrre con tutti i mezzi che furono esaminati nella prima parte di quest'opera quando le dette sostanze debbano essere portate e mantenute qualche tempo ad alta temperatura, quale è quella occorrente per far bollire l'acqua e friggere le costolette. In questo caso devesi fornire celeremente a tali sostanze, e così concentrare in piccoli spazi, una grande quantità di calore, per riuscire ad elevarne la temperatura di quel tanto che occorre per trasformarle nel modo propostosi, e ciò nonostante le inevitabili perdite di calore dalle pareti e dalle aperture dei recipienti in cui sono contenute. In altri termini, bisogna operare con grande rapidità, somministrare il più presto possibile il calore per ridurre al minimo il tempo in cui le dette perdite possono prodursi, affinchè queste non rendano irraggiungibile il risultato finale. Per spiegarci con un esempio, si sa che mediante 90 calorie si può portare da 10° C. a 100° C. un litro di acqua; ma se si impiegasse molto tempo a trasmetterle al litro d'acqua, esso non potrebbe mai raggiungere la temperatura di

100° C., giacchè in causa del calore che sfuggirebbe dall'acqua attraverso alle pareti del recipiente benchè chiuso in cui è contenuta, questa non riuscirebbe mai ad accumulare in sè le 100 calorie. L'effetto utile in questo caso è tanto minore quanto maggiore è la durata dell'operazione con pari grado di coibenza delle pareti del recipiente che possono trasmettere calore all'esterno. Le condizioni cui debbono soddisfare gli oggetti e attrezzi elettrici per la cucina sono alquanto diverse, come vedesi, da quelle richieste per le stufe elettriche. Perciò le comuni resistenze metalliche nude, e cioè non riparate dall'aria o mercè uno smalto ad esse aderente o almeno mercè una custodia, non sono adatte pei detti attrezzi, poiché in causa dell'alta temperatura cui dovrebbero essere sottoposte, in breve si deteriorerebbero.

Se, come si disse, non tutti i tipi di apparecchi elettrotermici di cui si parlò alla Parte I si prestano al riscaldamento dei liquidi, per contro per questo venne proposto, come si vedrà, uno speciale apparecchio elettrotermico ad induzione, che non fu applicato al riscaldamento dei locali di abitazione.

E' bene subito rilevare che nella Svizzera, ove si sente come da noi il bisogno di sostituire l'energia idrica a quella del carbone, si eseguirono da apposite commissioni delle diligenti esperienze intorno a quanto ha relazione colla cucina elettrica. Da queste é risultato che gli isolanti fabbricati con amianto sono troppo igroscopici dimodochè nelle cucine ove l'aria è umida la loro resistività all'isolamento diminuisce. Si impiega qualche volta l'amianto per ricoprire il filo costituente la resistenza che viene posta in un altro isolante; in questo caso in causa del forte riscaldamento l'amianto diventa friabile e si polverizza. La mica diede ottimi risultati ed ha il solo difetto di essere assai costosa. I nastri e i fili metallici destinati a divenire la sede del calore si dimostrarono assai fragili ad eccezione di quelli costituiti da una lega di nichelio e cromo, detta *nicroux*, di origine americana. Questa lega viene fornita in fili di mm. 0,3 a 0,7 di diametro e in nastri dello spessore da mm. 0,1 a 0,2 e della larghezza di alcuni millimetri.

Gli apparecchi elettrici per la cucinatura che furono riconosciuti i più convenienti, nonostante il loro rendimento meno alto, sono quelli analoghi ai fornelli a gas, e cioè quelli consistenti in lastre riscaldanti sulle quali si pongono gli ordinari utensili di cucina e che comportano una rosticceria. Tali apparecchi vennero costrutti anche in guisa che vi si possa automaticamente iniziare la cottura ad un'ora determinata e diminuirvi l'intensità della corrente riscaldante, non appena raggiunta la giusta cottura, di quanto occorre per mantenere soltanto caldi i cibi sino all'ora del pasto.

Un'importante applicazione del riscaldamento elettrico è senza dubbio quella relativa alla fabbricazione del pane, delle paste, e simili.

I forni elettrici pei panifici presentano a fronte di quelli comuni il vantaggio di avere delle piccole dimensioni in guisa che possono essere costruiti con tre o quattro compartimenti: si hanno così parecchi forni di capacità eguale in uno spazio in cui non potrebbe trovare posto che un solo forno di altra specie: vantaggio grandissimo nell'applicazione agli alberghi, ristoranti, ospedali, ecc. dove lo spazio è assai prezioso. Un altro pregio offrono i forni elettrici ed è che la durata del riscaldamento preliminare vi è molto minore di quella che è richiesta dai forni a carbone, a legna o a gas.

Apparecchi pel riscaldamento dei liquidi e delle vivande.

Questi apparecchi si alimentano generalmente coi circuiti della luce, a cui sono collegati mediante conduttori flessibili, nei modi indicati dalla fig. da 1 a 5 alla pagina 20, e sono protetti da interruttori, come le lampade e le stufe elettriche.

In alcuni apparecchi pel riscaldamento dei liquidi i conduttori metallici destinati a fornire il calore, perchè siano difesi dall'aria, sono situati, con interposizione di amianto, in una intercapedine ermeticamente chiusa, che circonda il recipiente in cui il liquido è contenuto. Il liquido essendo, in condizioni acconcie, avidissimo del calore, assorbirà nella quasi totalità quello generato nel conduttore situato nell'intercapedine, mentre una piccola parte ne sfuggirà dalla parete esterna. Uno di questi apparecchi permette di far bollire in 20 minuti un litro d'acqua originariamente a 15° C., consumando 130 wattore. (Il rendimento risulta in questo caso del 76% circa).

Fra questi apparecchi è degna di nota una macchinetta pel caffè, provvista di un interruttore, che apre automaticamente il circuito elettrico non sì tosto l'acqua del recipiente ove viene riscaldata si porta in un recipiente, prossimo al primo, contenente il filtro. A tale effetto i due recipienti sono uniti rispettivamente alle estremità del giogo di una bilancia: all'inizio, il recipiente contenente l'acqua appoggia inferiormente su di un contatto elettrico, che permette la circolazione della corrente nella spirale riscaldante; non appena l'acqua bolle e passa dall'uno all'altro recipiente, il giogo oscilla e il circuito viene interrotto.

Infine meritano di essere accennati i calderoni della capacità di 20 litri, muniti di due resistenze, i quali consumano 1,1 o 4,4 kilowatt, secondoché si utilizza una o due resistenze.

* * *

Anche le resistenze costituite da sottili veli di metalli preziosi (v. pag. 67) acconciamente riparate dall'aria, vengono utilizzate per la bollitura dei liquidi e per la cucinatura delle vivande. Queste resistenze sono deposte sulla superficie esterna del reci-

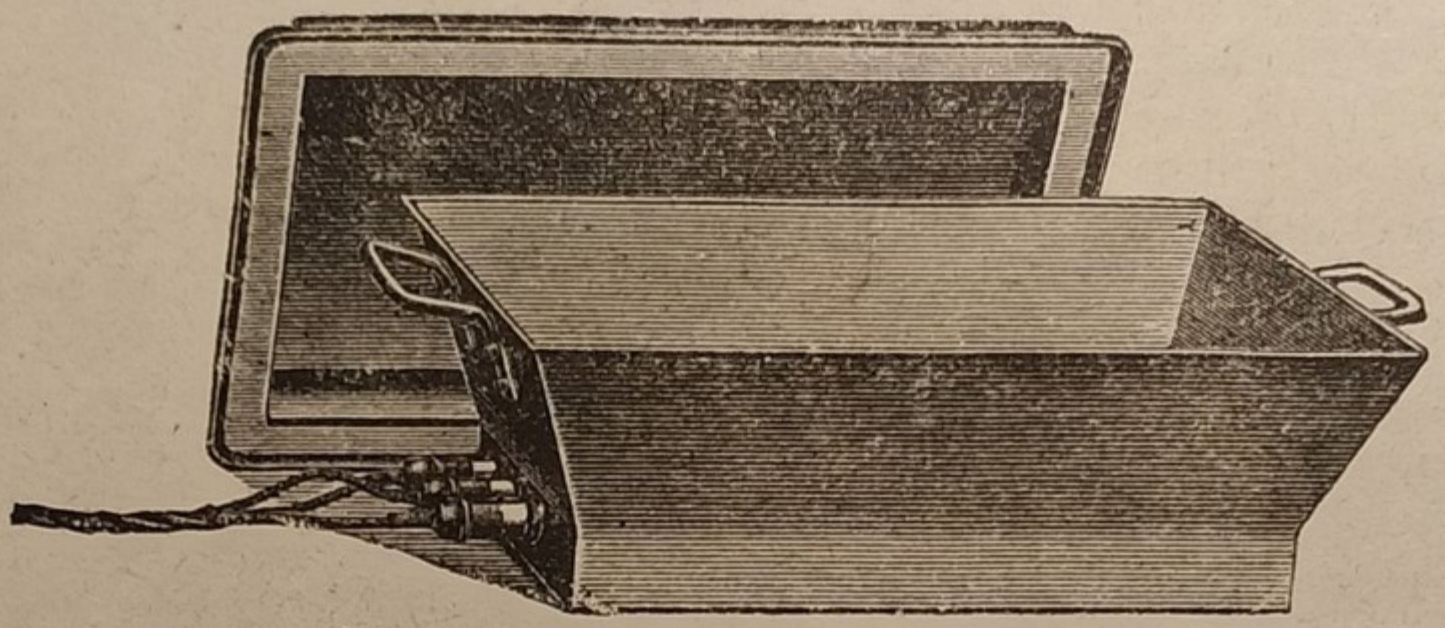


Fig. 113. Ghiotta
Dimensioni: millimetri 400 × 248 × 95; — 500 × 340 × 120.
Consumo massimo a 110 volta: 10-16 ampère.

piente contenente il liquido o la vivanda da cucinare; un secondo recipiente avvolge il primo e serve di custodia alle resistenze stesse. In generale ambidue i recipienti sono metallici. Se il recipiente interno è metallico, un sottile strato di smalto

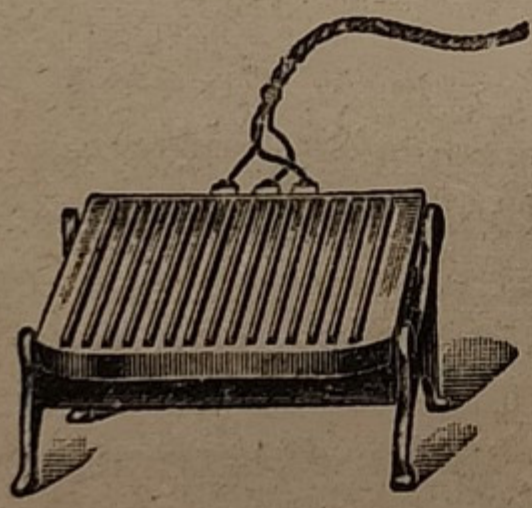


Fig. 114. — Graticola
Lunghezza cent. 20-38.
Larghezza » 10-38.
Consumo
a 110 volta: 6-8 ampère.

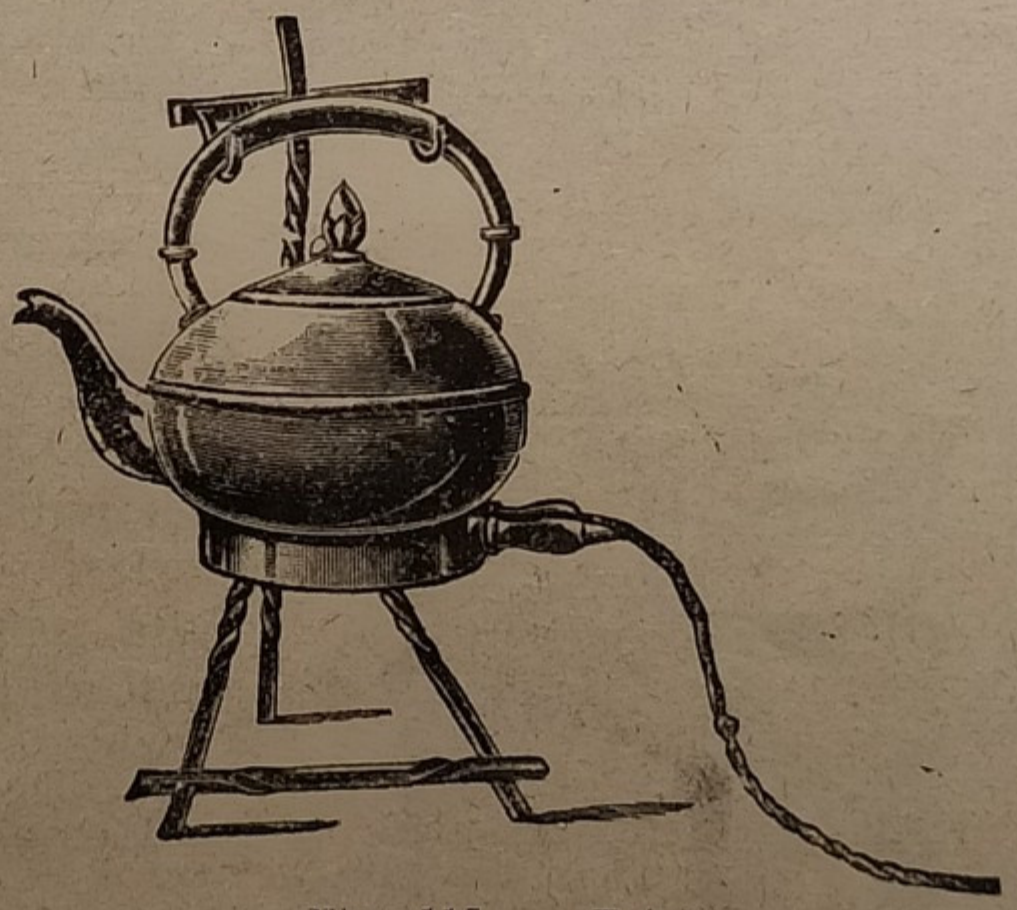


Fig. 115. — Teiera
Capacità: litri 1-1,5
Consumo a 110 volta: 4-5 ampère.

isolante lo rivestirà all'esterno, cosicchè la resistenza metallica essendo applicata su questo smalto, si troverà così interposta tra due sostanze isolanti, lo smalto e l'aria racchiusa nell'intercapedine dei due recipienti.

Si costruiscono oggetti svariatissimi per uso domestico infor-

mati a questo sistema, come leccarde (fig. 113), graticole (figura 114), theiere (fig. 115), caffettiere, samovar (figura 116), bagnimaria (fig. 117), scaldavivande (fig. 118 a 119), forni arrosto

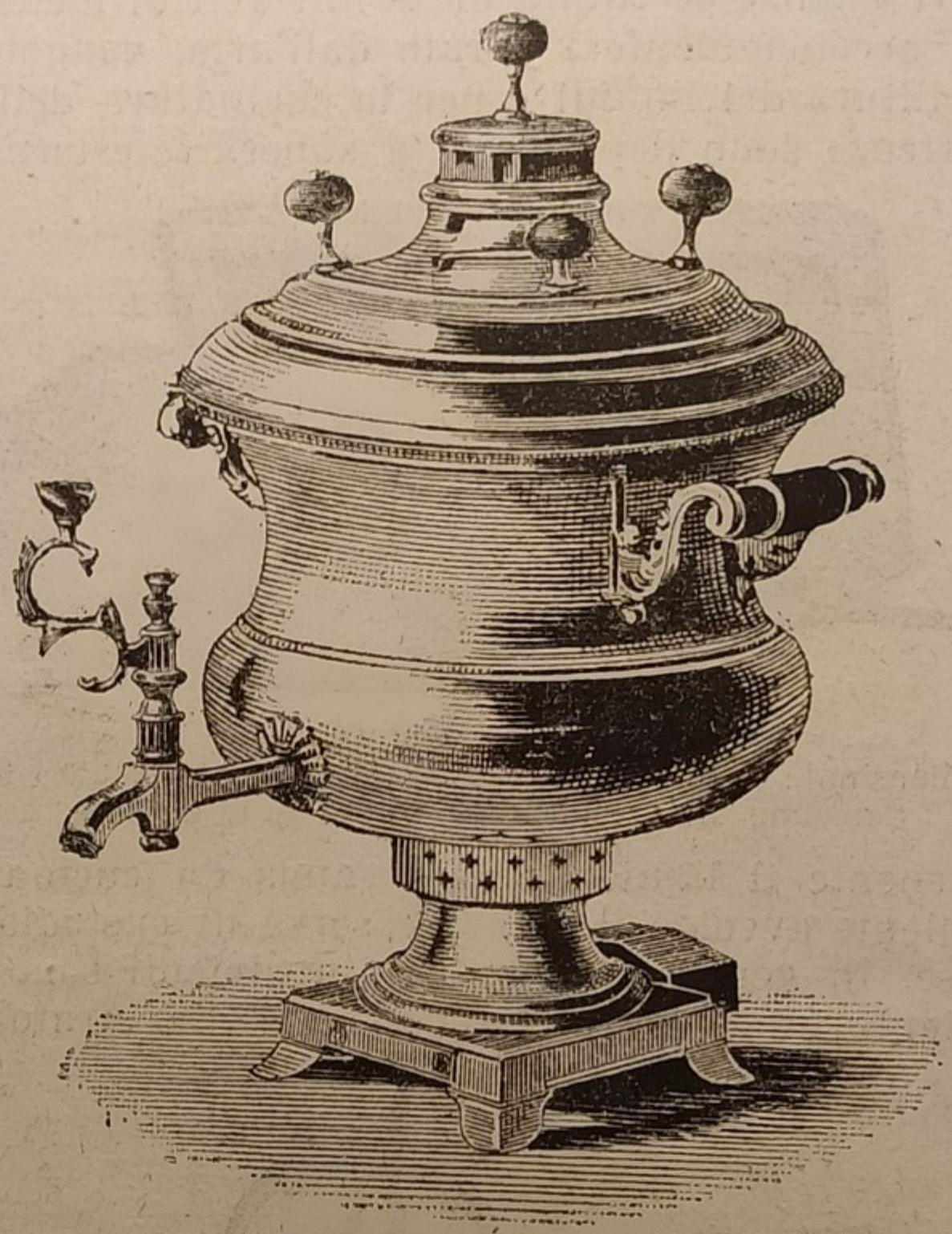


Fig. 116. — Samovar.

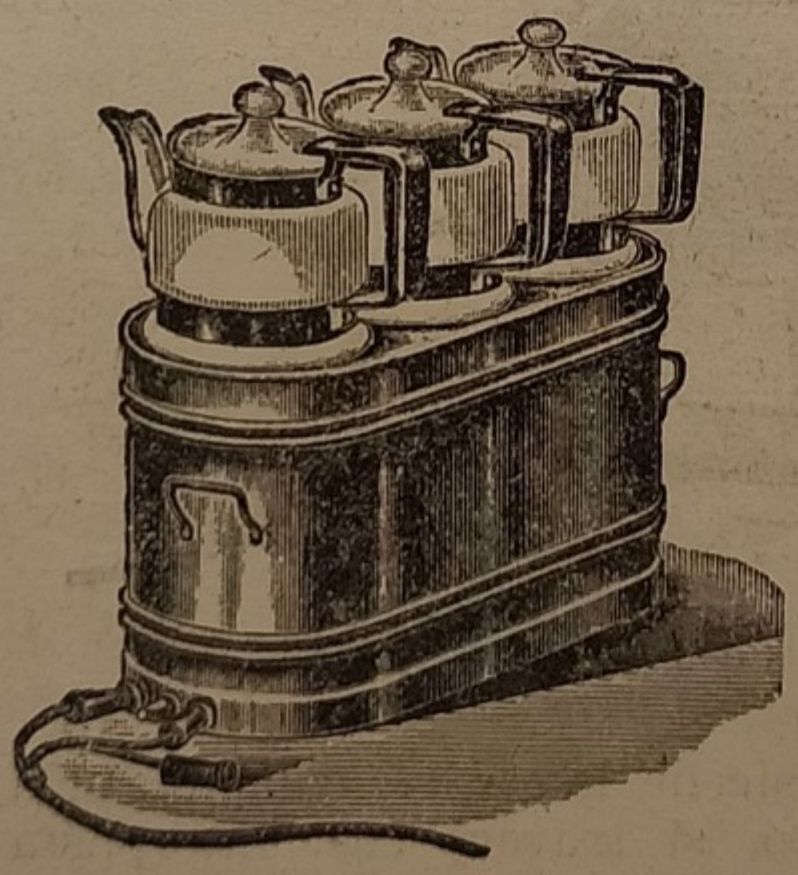


Fig. 117.
Bagnomaria per ristoranti, ecc.
Consumo: 8 ampère sotto 110 volta.

(fig. 120), dispense (fig. 121), ecc.

A proposito delle caffettiere elettriche devesi osservare che esse nei pubblici esercizi sono da preferirsi a quelle a gas in particolare perchè non deturpano con esalazioni gli stucchi e le decorazioni.

Le pentole, della capacità da 0,3 a 6 litri, consumano circa 1 ettowattora per portare all'ebollizione ciascun litro d'acqua dalla temperatura iniziale di 15° C.

Questi apparecchi sono in generale provvisti di due circuiti, uno C_1 al fondo e l'altro C_2 alla parete di rivoluzione, e di 3 contatti, e ammettono 4 regolazioni.

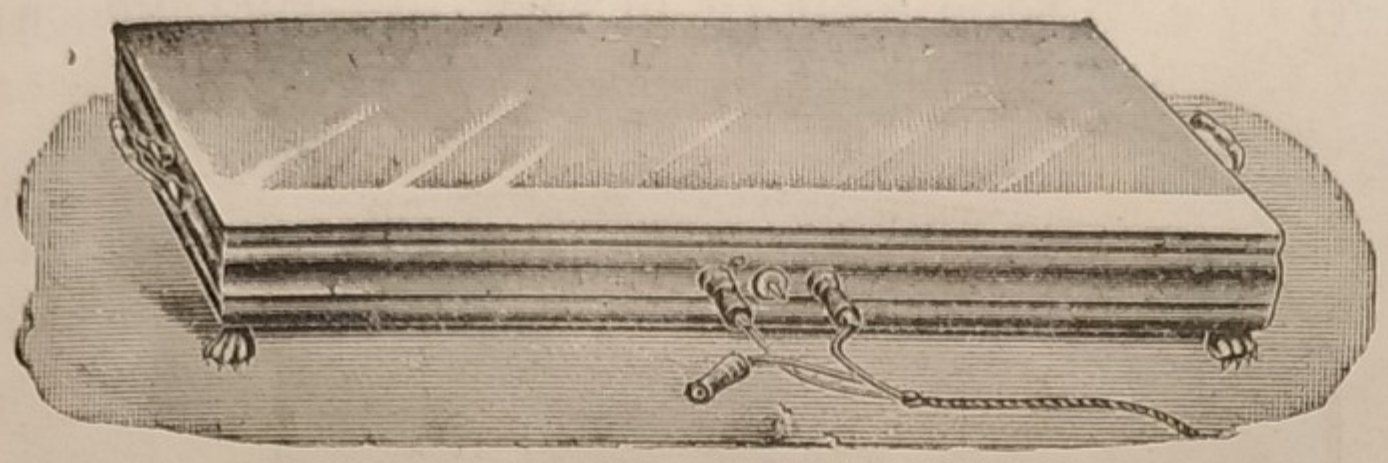


Fig. 118. — Scaldavivande

Lunghezza 500 mm. - Larghezza 350 mm. - Consumo a 110 volta : 1,5 ampère.

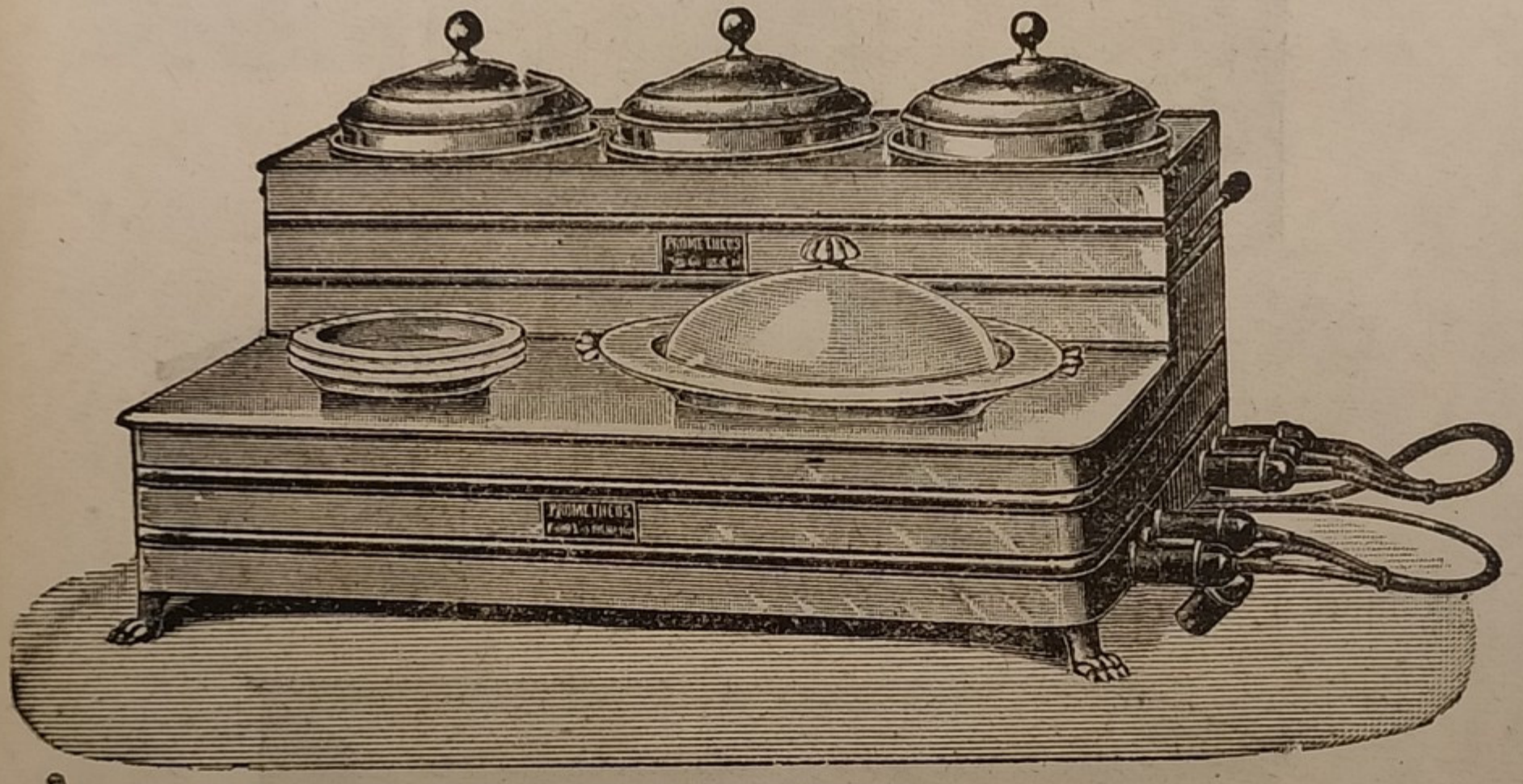


Fig. 119. — Scaldavivande a bagnomaria

Consumo a 110 volta : 6-24-144 ampère.

Fig. 118 bis.

Scaldavivande da mensa
Diametro : mm. 18,5-23.
Consumo a 110 volta : 0,5-2 ampère

potendo i collegamenti effettuarsi in quattro diversi modi (vedi fig. 122 a 127). Secondo una di queste disposizioni, i conduttori C_1 e C_2 sono posti in derivazione, e la potenza calorifica è massima; secondo un'altra, è solo in attività il circuito C_1 e la potenza è moderata; pure moderata, ma inferiore alla precedente è la potenza quando la disposizione è tale che è soltanto in at-

tività il circuito C_2; infine la potenza è minima allorchè i due conduttori C_1 e C_2 sono disposti in serie. (Ci riferiamo a questo proposito alle discussioni fatte a pagine da 25 a 28).

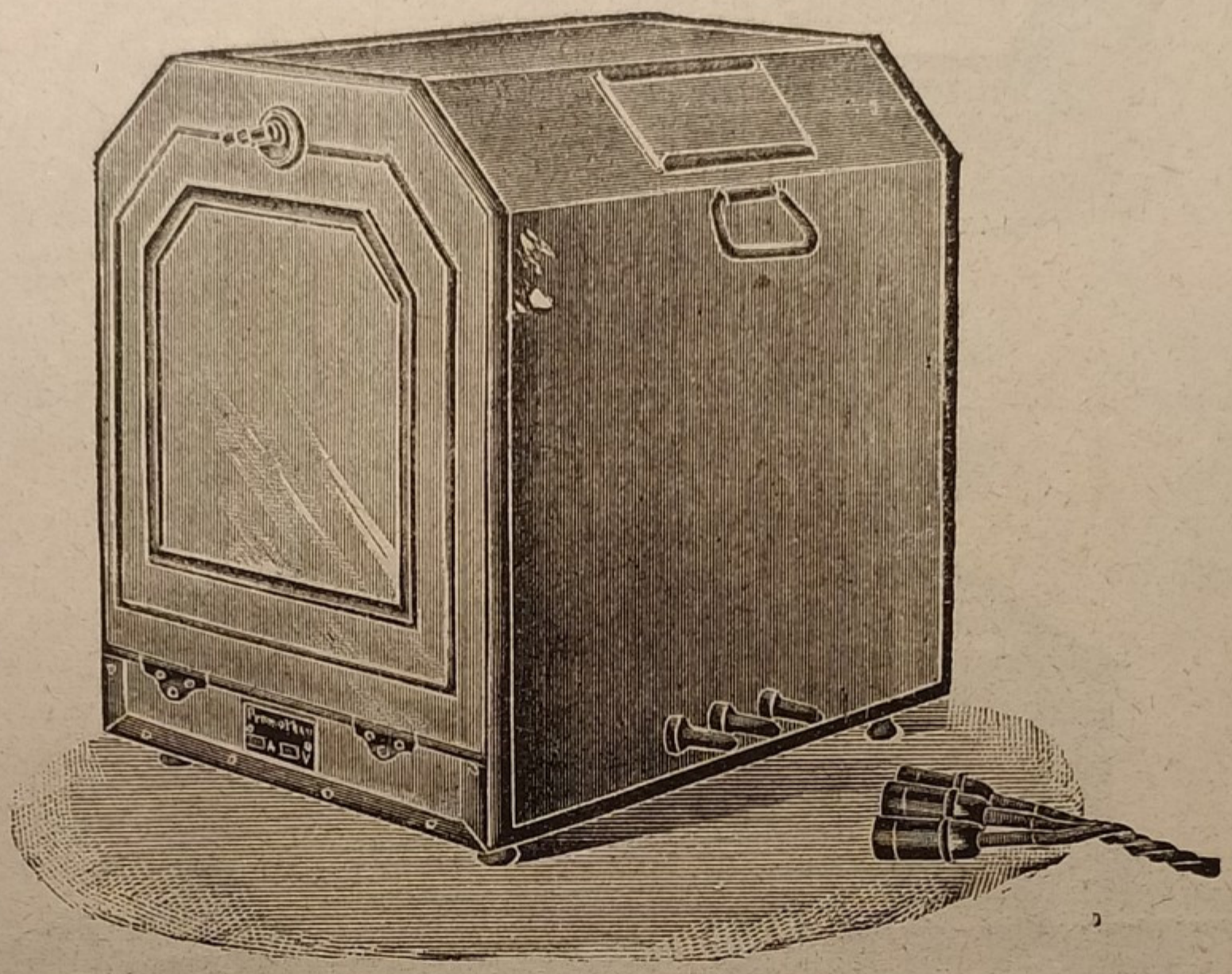


Fig. 120. — Forno per arrostire.

Volume utile: centimetri 30×30×40. — Consumo a 110 volta: 16 ampère.

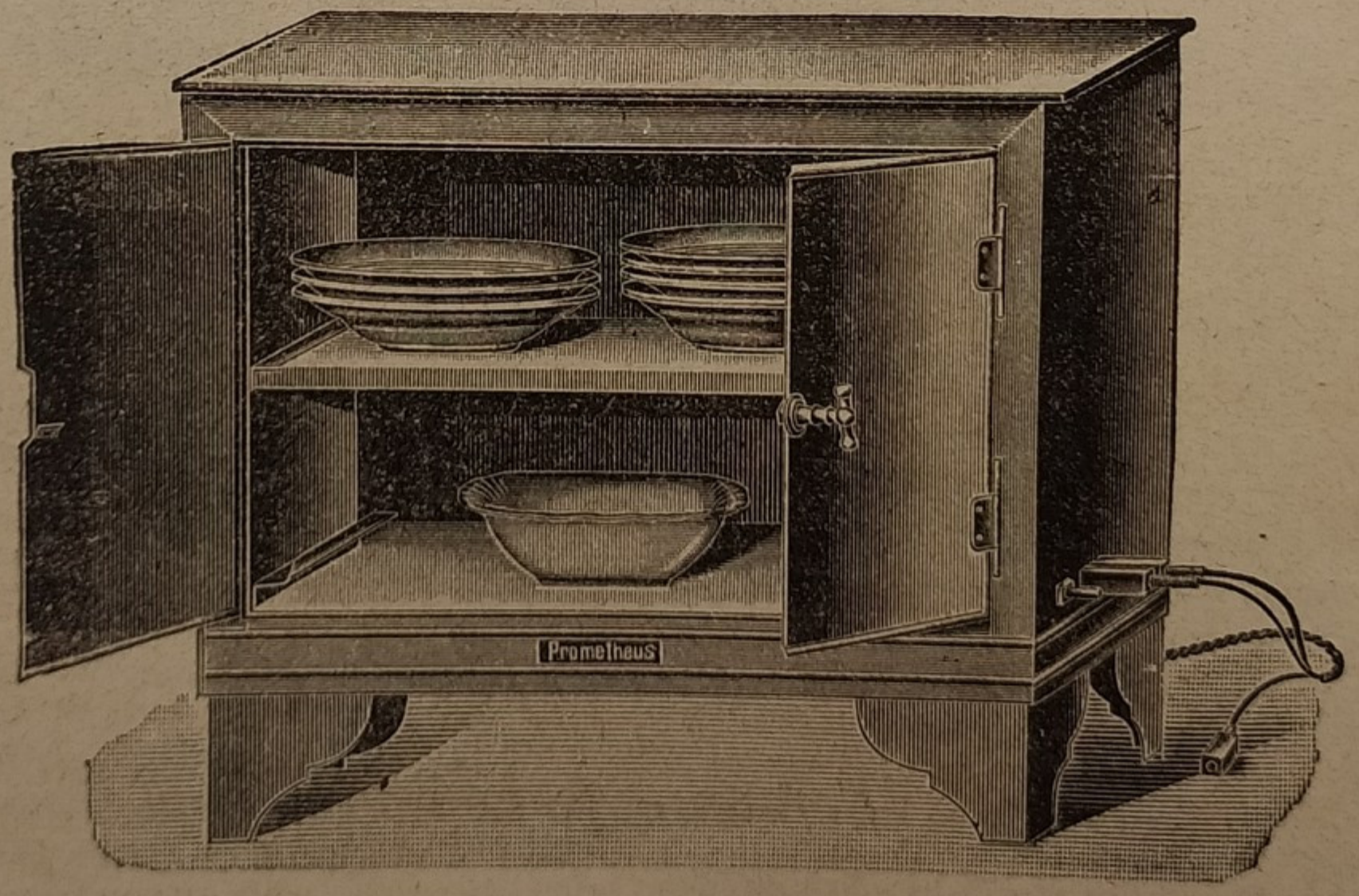


Fig. 121. — Dispensa riscaldante.

Nel far uso di questi apparecchi bisogna avere l'avvertenza di non ammettervi la corrente se non dopochè si è in essi introdotto la sostanza da scaldare, giacchè in caso diverso s'accumulerebbe nelle loro pareti troppo calore, che le deteriorerebbe.

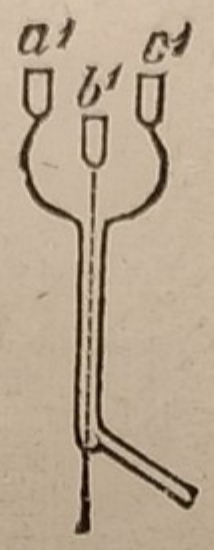


Fig. 123

Cordone con tre conduttori.

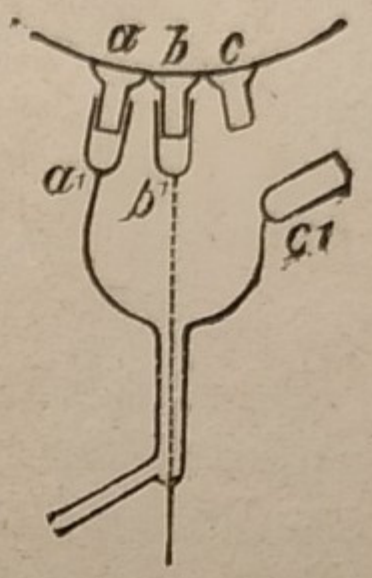


Fig. 124 - Disposizione per la produzione normale del calore. (Il solo fondo è attivo).

Fig. 122 — Marmitta

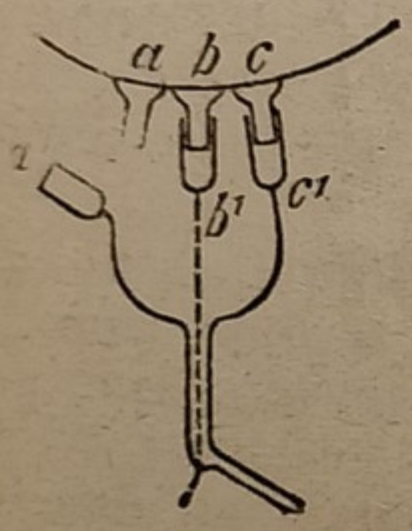


Fig. 125 - Disposizione per la produzione moderata del calore. (I lati solo sono attivi).

Fig. 126. - Disposizione per la massima produzione del calore (Fondo e lati in parallelo).

Fig 127 - Disposizione per la minima produzione del calore. (Fondo e lati in serie).

a, b, c — morsetti applicati alla marmitta

a', b', c' — estremità dei tre conduttori.

Fig. 122 a 127. Marmitta elettrotermica con quattro graduazioni della temperatura

* * *

Le lampade ad incandescenza con grossi filamenti di carbone nei quali la temperatura viene spinta al massimo a 800° C. (V. pag. 91) sono pure impiegate per provocare il riscaldamento negli utensili e apparecchi da cucina, specie nei forni da pasticciere e nelle credenze destinate a mantenere caldi i piatti e le vivande. Nei forni e nelle credenze esse sono addossate all'interno delle pareti, le quali debbono perciò essere, per quanto possibile, impermeabili al calore.

* * *

Svariatissimi sono gli apparecchi da cucina, nei quali sono utilizzate le resistenze costituite da fili metallici allogati in uno smalto isolante (v. pag. 72). Fra questi accenneremo alle graticole, che raggiungono la loro temperatura normale in 5 minuti circa, mentre in altri 5 minuti possono cuocere un *beefteack*, consumando, a seconda delle loro dimensioni, da 5 a 9 ettowatt; agli scaldavivande, costituiti da un recipiente della capacità da 1 a 3 litri, destinato a contenere le vivante da riscaldare, e dell'apparecchio di riscaldamento propriamente detto, che porta aderente il primo é ad esso comunica direttamente il calore; alle rosticcerie corredate di uno scaldarrosto, le quali sono capaci di consumare 2 kilowatt e sono munite di commutatore, con cui si possono disporre differentemente tre circuiti, che trovansi uno nello scaldarrosto e gli altri due nelle pareti della camera del forno.

Gli apparecchi che servono a riscaldare i liquidi sono gli stessi accennati scaldavivande, nel qual caso si applicano su di essi i recipienti comuni contenenti i liquidi, ovvero sono dei recipienti di smalto nelle cui pareti trovansi allogati i fili conduttori di riscaldamento. Sì nell'un caso come nell'altro le pareti riscaldanti si costruiscono come se dovessero essere esposte all'aria, potendo eventualmente i recipienti essere privi di liquidi. Con questi apparecchi, se il fondo del recipiente ha il diametro di 15 cm., e la superficie riscaldante corrisponde a tale fondo, si può riscaldare un litro di acqua in 12 minuti, col rendimento dell'80 per cento.

In generale per le graticole e gli scaldavivande le superfici che trasmettono calore hanno la temperatura di circa 300° C. e consumano 140 watt per decimetro quadrato. Per gli apparecchi destinati a riscaldare i liquidi è pure di 300° C. la temperatura riscaldante, ma il consumo dell'energia è di 3 ettowatt per decimetro quadrato.

Fig. 128. — Disco elettrotermico.
Diametro: 220 mm.
Spessore: 30 »

Nella figura 129 vedesi un fornello multiplo ove si utilizza l'accennato sistema di riscaldamento: la fig. 128, ne mostra il tipo dei dischi elettrotermici.

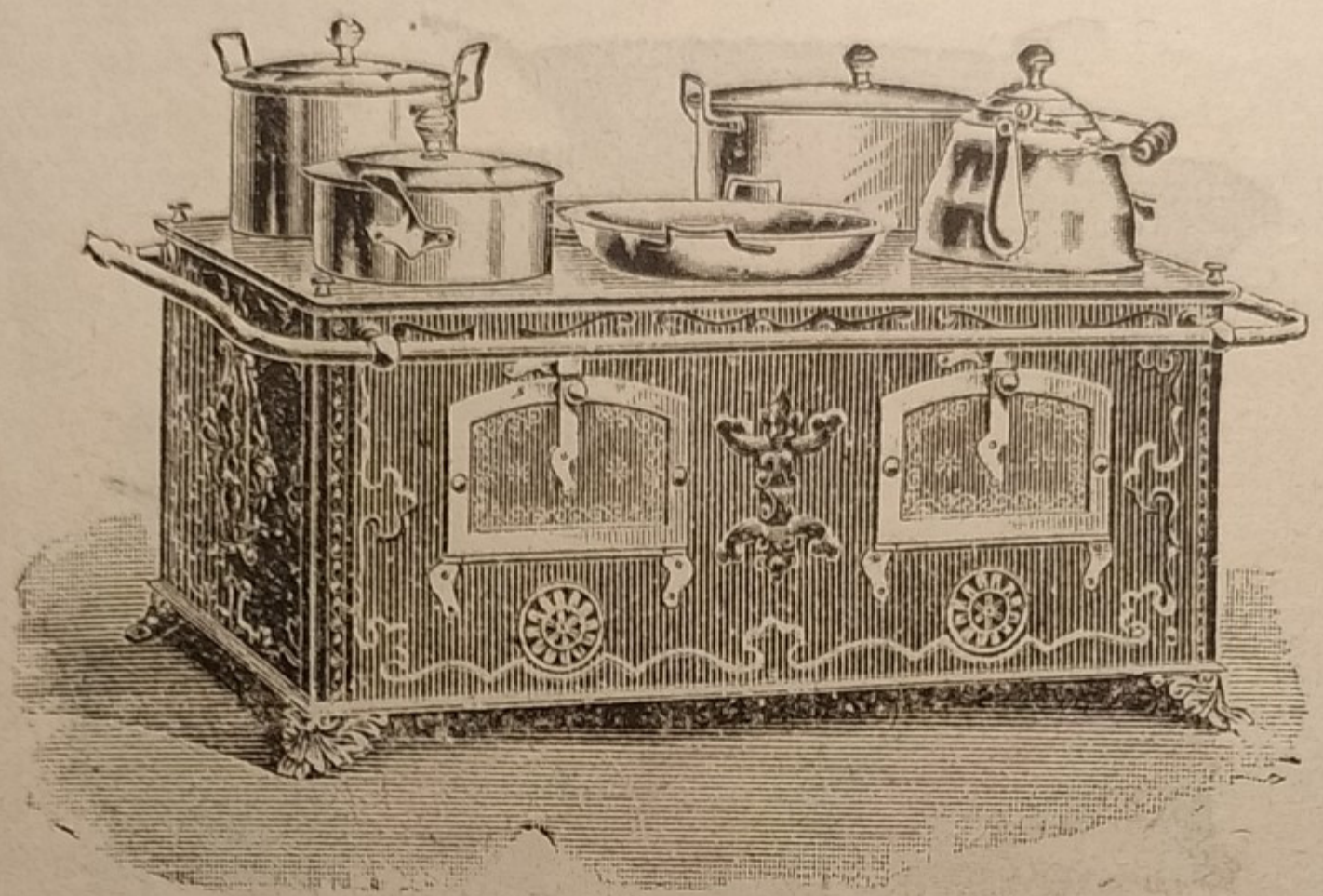


Fig. 129. — Scaldavivande nichelato con più fornelli.
Dimensioni: mm. 500×350×240.
Peso: 10 kg. circa — Consumo: 7 kilowatt.

* * *

Le figure 130 e 131 rappresentano un fornello in porcellana provvisto di resistenze metalloceramiche. Queste resisten-

Fig. 130. — Vista esterna.

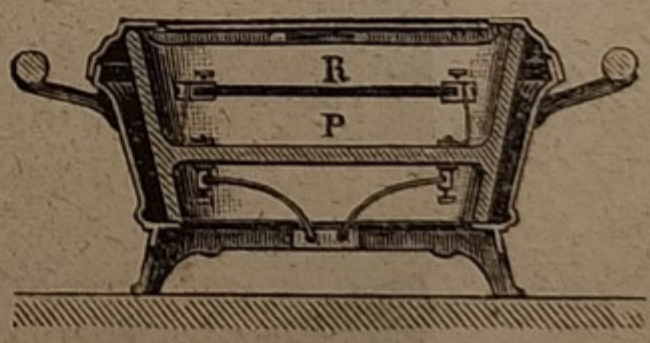


Fig. 131. — Sezione.
R resistenze metalloceramiche
P corpo in porcellana del fornello e riflettore del calore.

Fig. 130 e 131 — Fornello in ghisa smaltata verde bronzo
Dimensioni: cent. 27 × 27 × 15.
Consumo: 12 ampère sotto 110 volta.

ze, mercè pinzette in rame, sono unite a sopporti flessibili, i quali permettono che esse possano liberamente allungarsi e accorciarsi; nelle loro estremità, ove sono premute dal-

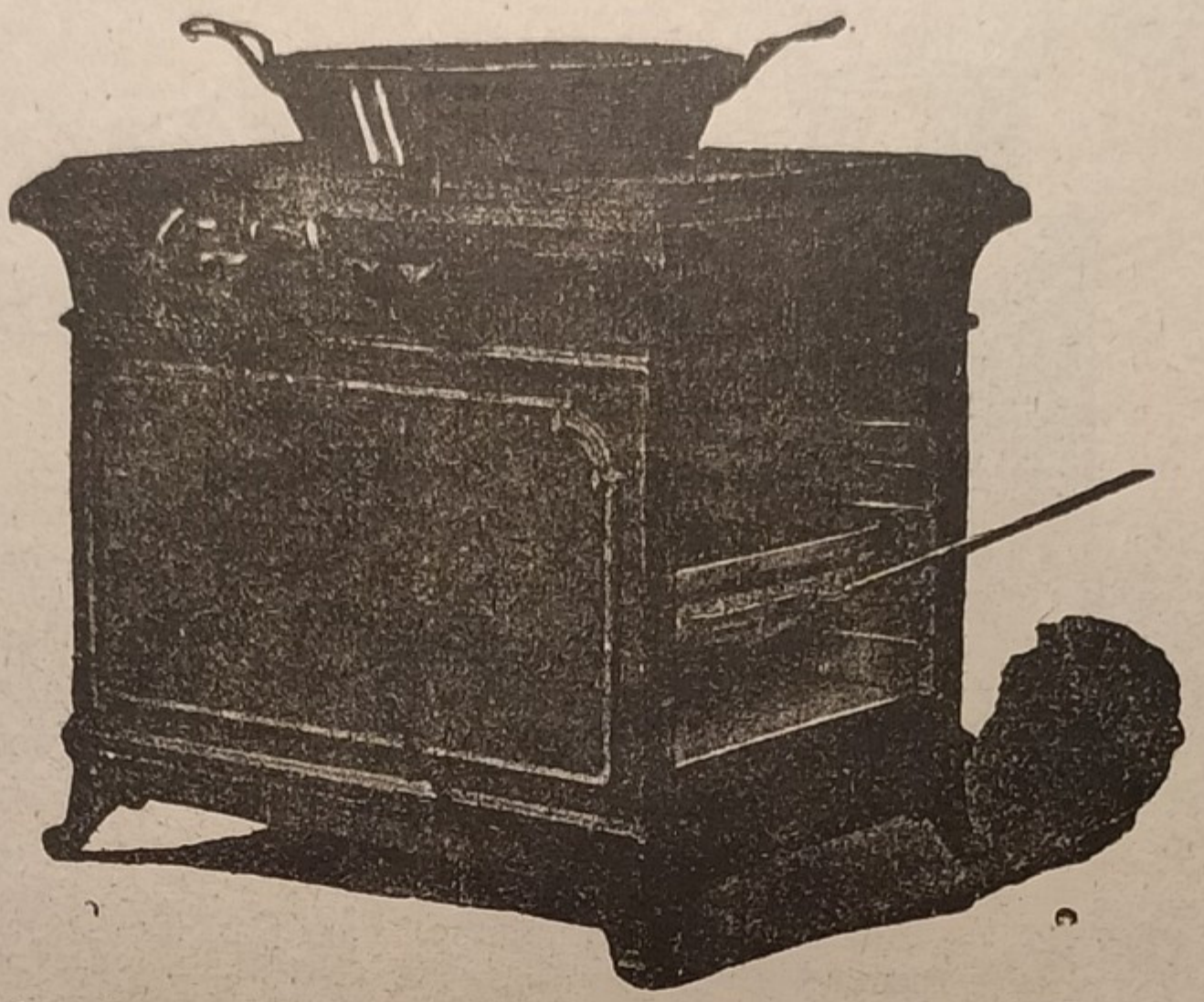


Fig. 132. — Rosticceria in ghisa smaltata verde bronzo.

Modello grande { Altezza : 27 centimetri — Lunghezza : 30 centimetri. Larghezza : 23 centimetri. Consumo : 12 ampère sotto 110 volta.

Modello piccolo { Altezza : 27 cent. — Lunghezza : 30 centimetri. Larghezza : 29 centimetri. Consumo : 29 ampère sotto 110 volta.

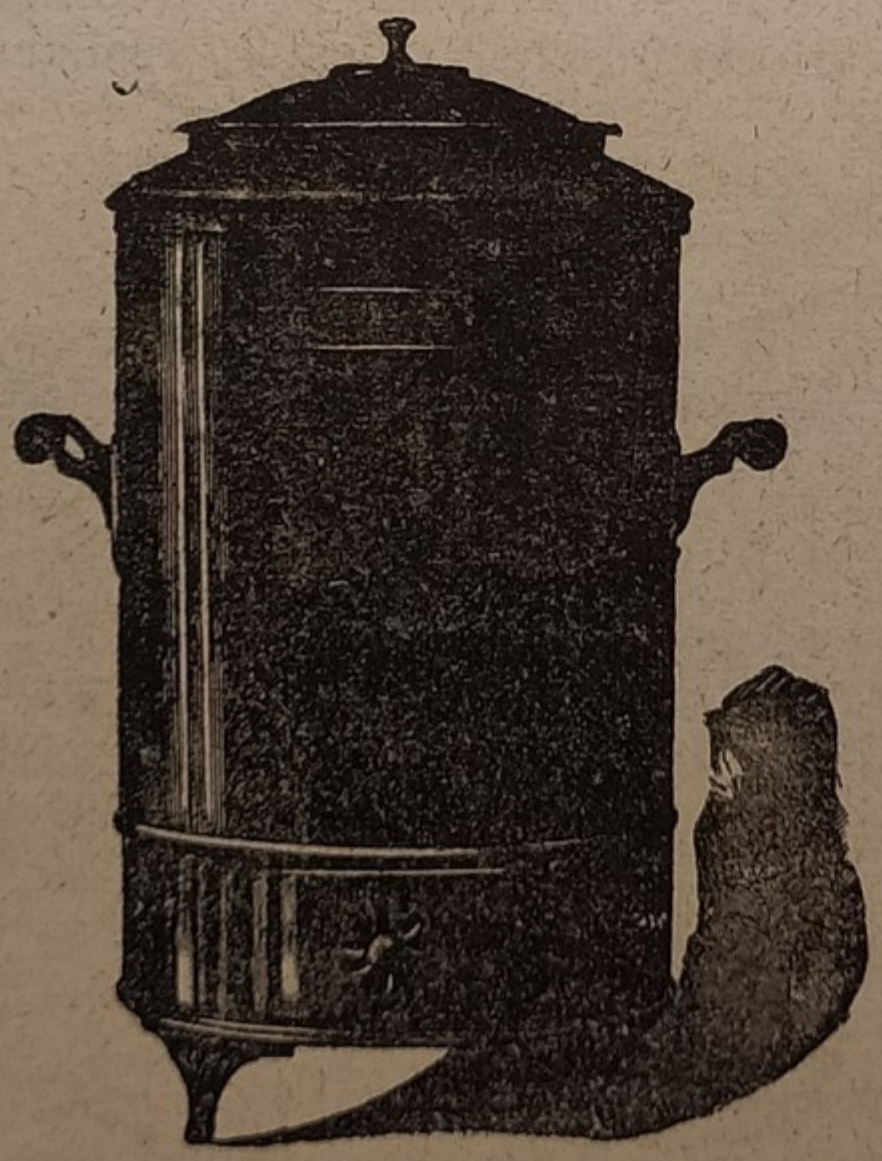


Fig. 133.

Fig. 134.

Altro forno per arrostire (Fig. 133 e 134).

Altezza : 55 cent. — Diam. : 30 cent. — Cons. : 9 ampère sotto 110 volta.

le pinzette, le resistenze stesse sono assai più ricche di sostanza metallica, affinchè ivi siano abbastanza conduttrici e non possano arroventarsi e pregiudicare le dette pinzette. I recipienti che si dispongono nel fornello ricevono direttamente il calore che emana dalla faccia superiore delle resistenze e indirettamente, e cioè riflesso dal corpo in porcellana del fornello, quel-

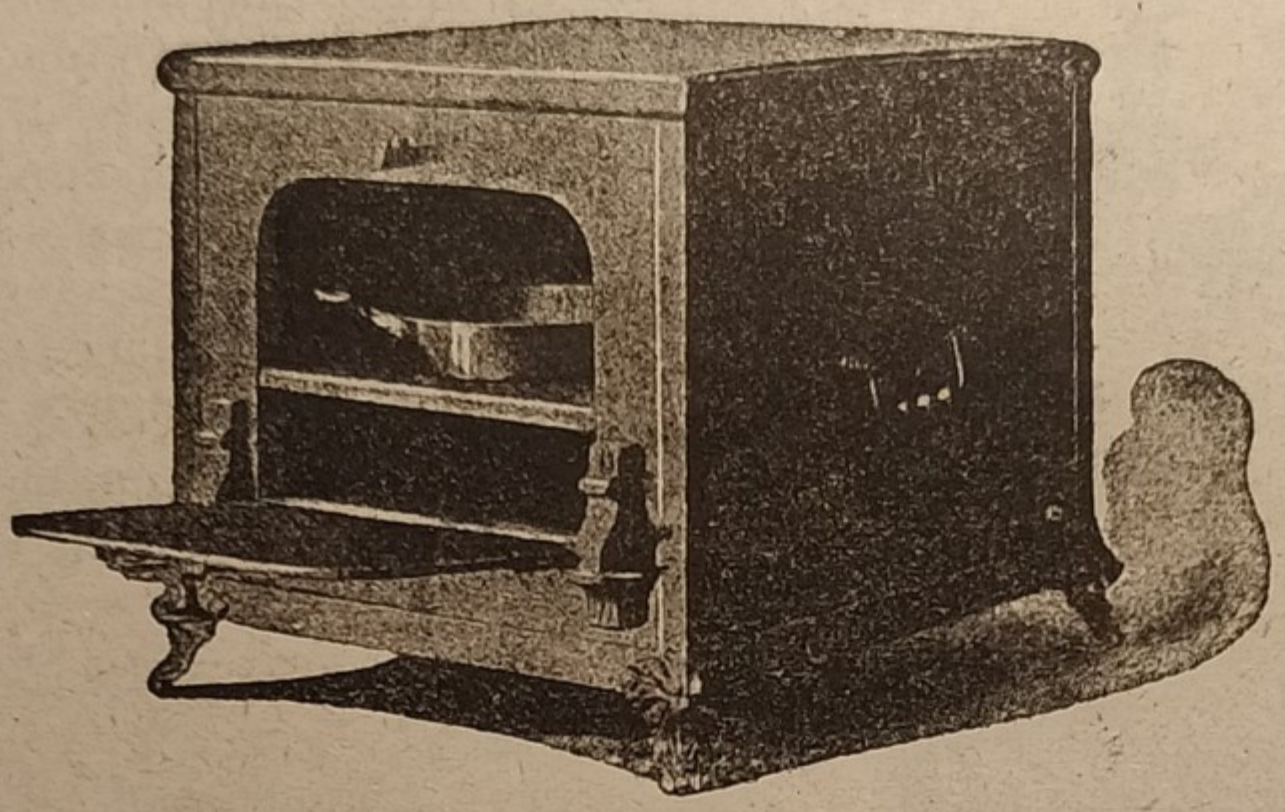


Fig. 135. — Forno per pasticcerie.

Altezza: 38 cent. — Larghezza: 38 cent. — Lunghezza: 40 cent.
Consumo: 9 ampère sotto 110 volta.

Fig. 136.

Fornello scaldabevande in ghisa nichelata.

Dimensioni: 14×14 cent.

Consumo: 3 ampère sotto 110 volta.

Fig. 137.

Recipiente con resistenza allogata nella parete.

Capacità: 15 centilitri.

Consumo: 15 ampère sotto 110 volta.

lo che è irradiato dalle altre facce delle resistenze stesse. La attività del fornello si può modificare, sia collegando diversamente le lamine costituenti le resistenze, sia sostituendole con altre di resistenza diversa. Il modello più comune è capace di assorbire 25 ampère sotto 110 volta.

Le resistenze metalloceramiche sono pure impiegate in rosticcerie (V. fig. 132 a 134), che richieggono in media 500 watto-

re per ogni chilogramma di arrosto, in graticole a fuoco vivo, che assorbono da 25 a 35 ampère sotto 110 volta, in forni da pasticciere (fig. 135), in scaldabevande (fig. 136 e 137), ecc.

Degno di nota tra gli arnesi di cucina che utilizzano le resistenze metallo-ceramiche è un gran banco da m. 2,10 per 1,10 provvisto di 8 focolai, costituiti ciascuno da resistenze che possono essere portate al rosso vivo e sopportare senza deteriorarsi la temperatura di 1200° C. Questi focolai consumano ciascuno 25 ampère sotto 110 volta circa.

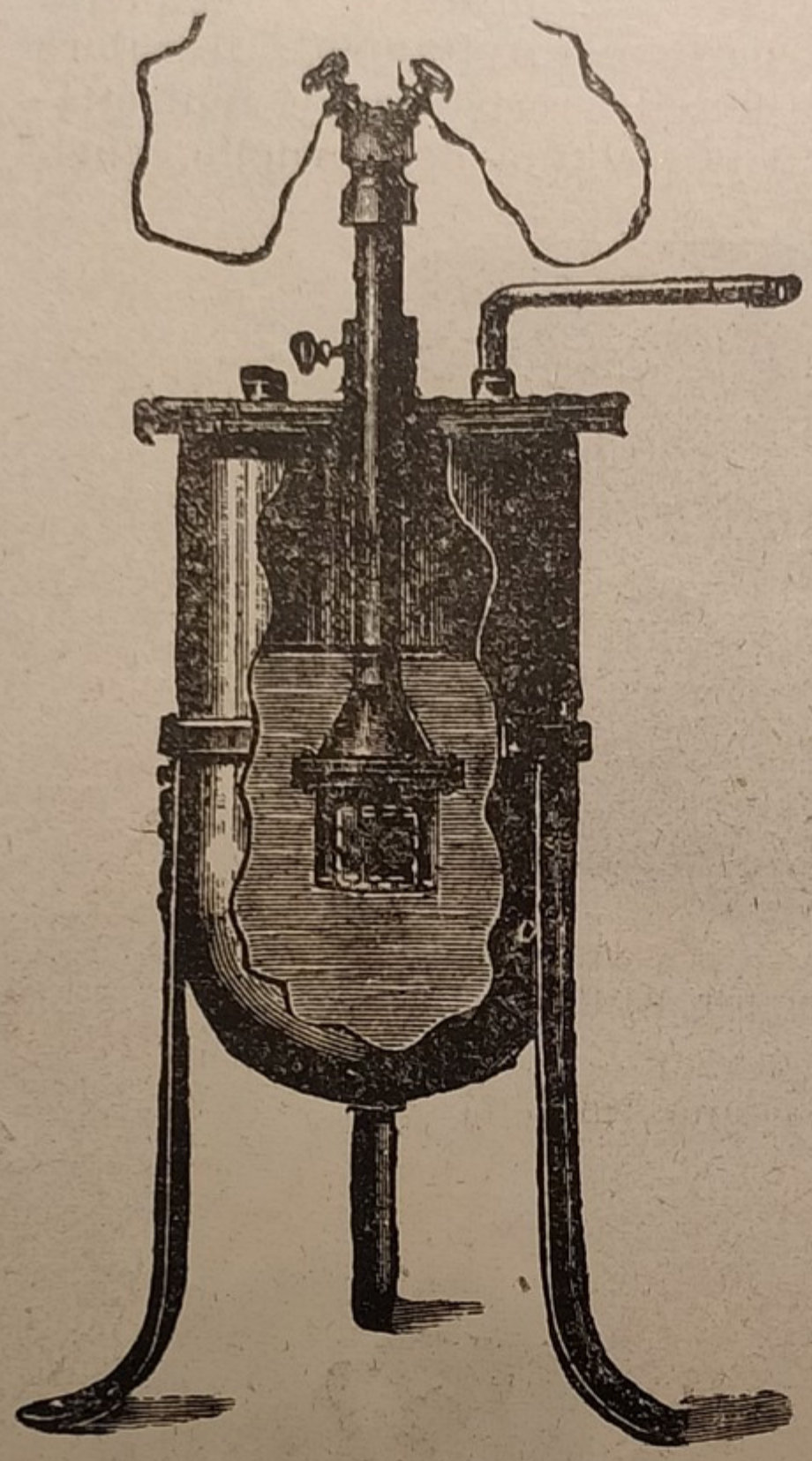


Fig. 138.- Apparecchio **Kryptol** pel riscaldamento dei liquidi.

* * *

Analoghe applicazioni ricevette il Kryptol (v.. pag. 101)

La fig. 138 rappresenta un apparecchio pel riscaldamento dei liquidi nel quale il Kryptol è situato entro una colonnetta fissata al coperchio e immersa nel liquido da riscaldare.

* * *

Anche il principio su cui è basata la stufa magnetica Verole può essere utilizzato nella costruzione degli apparecchi pel riscaldamento dei liquidi e degli alimenti. Già si accennò alla stufa in un sol getto col recipiente per la bollitura dell'acqua o di altro liquido (V. fig. 108 e 109): devonsi ricordare ora gli apparecchi destinati esclusivamente al riscaldamen- ecc., alcuni dei quali sono visibili nelle fi.g 139 a 142. Questi apparecchi hanno anche il vantaggio di non deteriorarsi ancor chè vi si immetta la corrente elettrica quando non sono in contatto coi corpi da riscaldare.

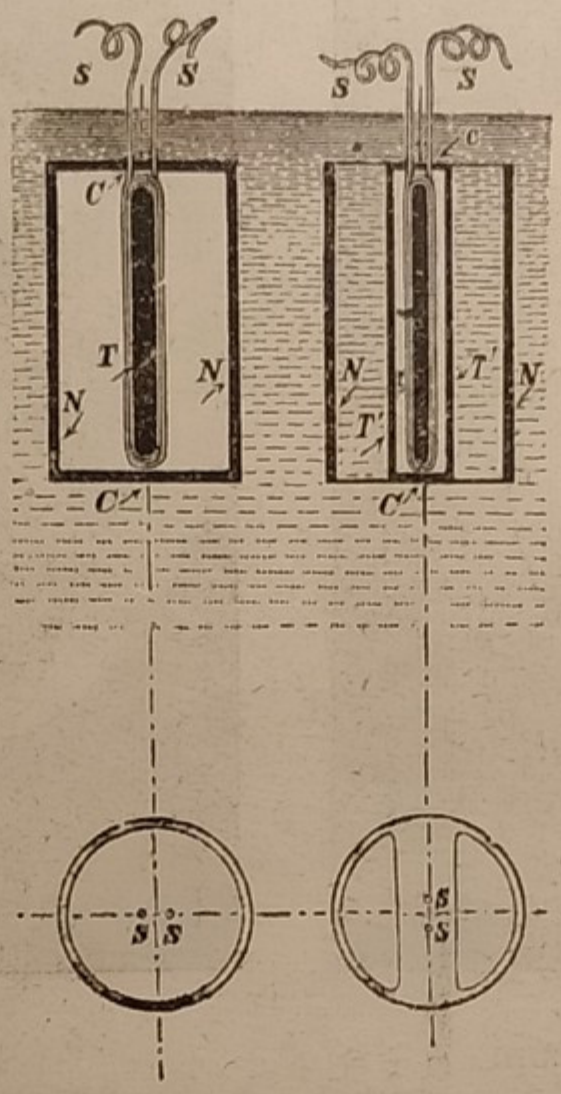
Fig. 139 e 140. — Sezioni secondo l'asse.

N N, nucleo cilindrico che trasmette calore.

T, tramezzo che forma un solo pezzo fuso con N N.

C, C, coperchi di riporto a chiusura ermetica per difendere la spirale dal contatto dell'acqua.

S S, spirale.



N N, nucleo cilindrico che trasmette calore

T. tramezzo (formante un sol pezzo con N N) su cui è avvolta la spirale S.

T', T', due tramezzi (formanti un solo pezzo con N N) tra cui è compresa la spirale S, i quali trasmettono calore.

C, C, coperchi a chiusura ermetica.

Fig. 141 e 142. — Piante.

Fig. 139 a 142. — Apparecchi **Verole** pel riscaldamento dei liquidi.

* * *

Da qualche anno venne introdotto nella pratica dallo Stabilimento Ponzini un riscaldatore dei liquidi che, come gli apparecchi magnetici di cui si é testè parlato, è fondato sul principio dell'induzione. Però, a differenza di questi, in esso il richiesto effetto termico non è prodotto dall'isteresi e dalle correnti parassite nel nucleo massiccio, che è la sede del flusso magnetico alternativo, ma bensì invece in un circuito elettrico secondario, distinto dal circuito magnetico, che perciò è lamellato, da correnti indottevi da un circuito elettrico primario contiguo nel quale circolano le correnti alternative provenienti direttamente dalla linea. Esso é così, come vedesi, un vero trasformatore ordinario. E perciò si potrà denominare *apparecchio elettrico a induzione* per distinguerlo dagli altri apparecchi a induzione detti magnetici. L'apparecchio può essere monofase o trifase. Le figure da 143 a 147 rappresentano quest'ultimo.

Il circuito elettrico secondario, ove producesi il calore utile, è costituito, come indicano le fig. 143 e 144, da un tubo principale in lamiera di ferro e da tre serie di piccoli tubi orizzontali

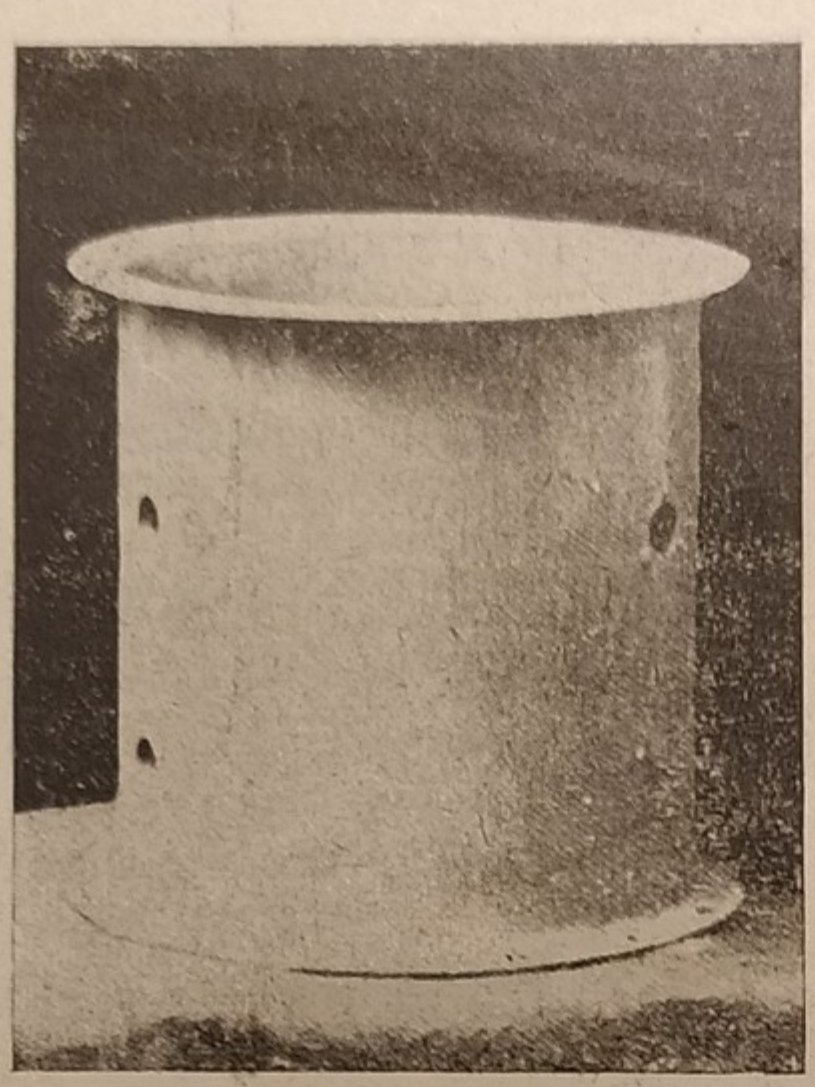
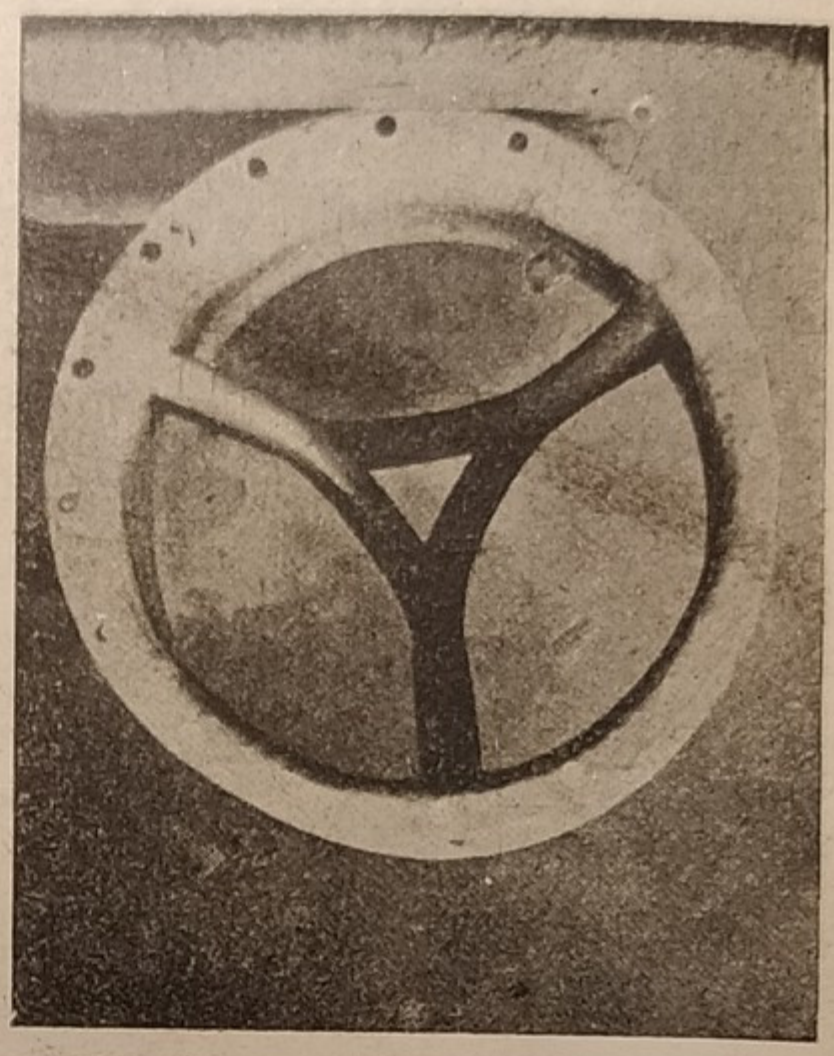


Fig 143 — Vista esterna



144. — Vista interna.

arcuati pure metallici situati nell'interno del primo al quale sono saldati nei lembi, in corrispondenza ad adatti orifizi.

I circuiti primari ed i relativi tre circuiti magnetici (fig.146 e 147) sono posti nell'interno di tale tubo principale, per modo che i circuiti magnetici circondano rispettivamente le dette serie di

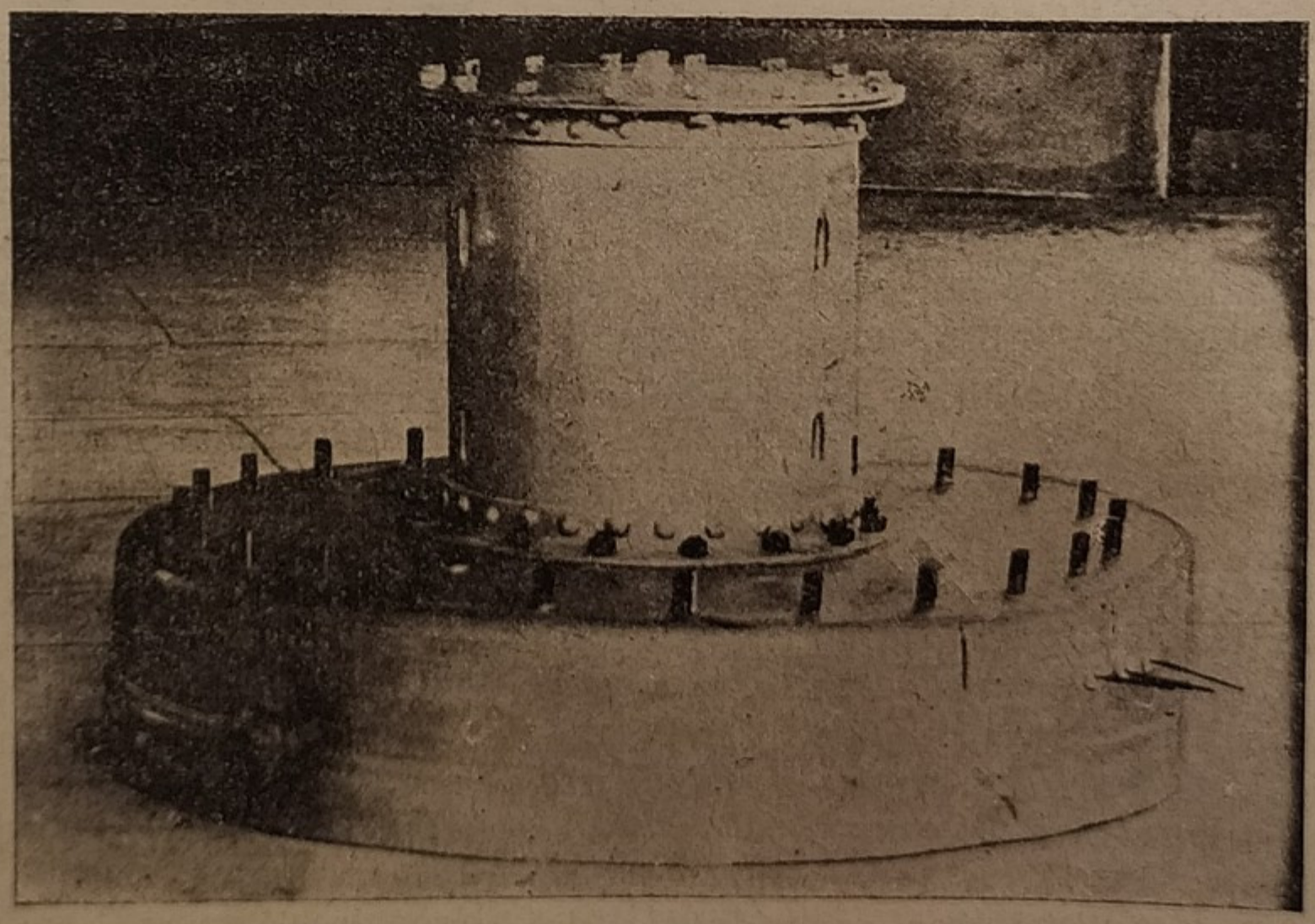


Fig. 145. — Tubo principale montato sullo zoccolo.

Fig. 143 a 145 — Tubo principale in cui avviene la produzione del calore.

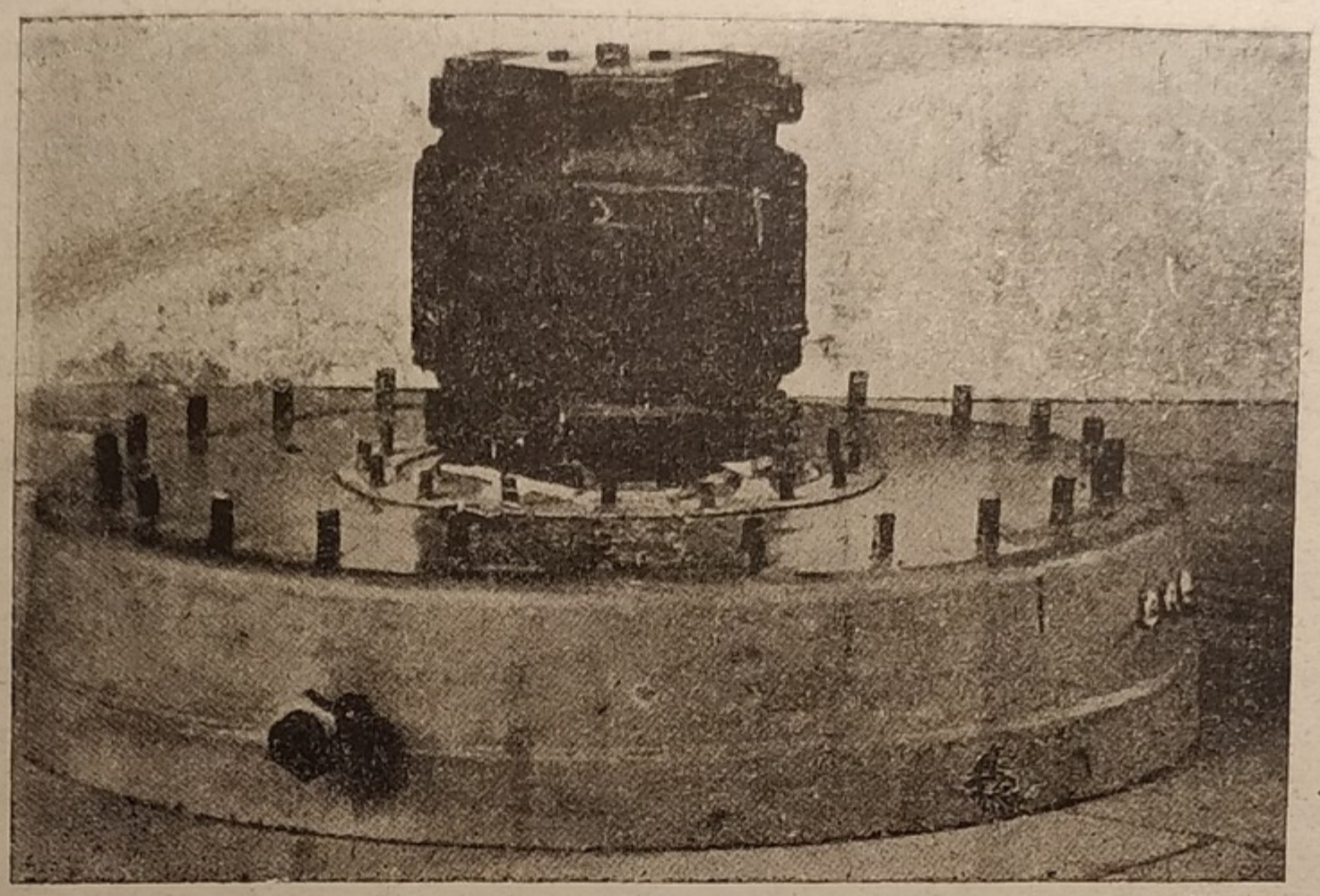


Fig. 146. — Trasformatore trifase montato sullo zoccolo.

piccoli tubi, mentre il liquido da riscaldare occupa lo spazio interno dei tubi stessi nonchè quello compreso tra il tubo principale, ermeticamente chiuso alle sue basi, ed un corpo cilin

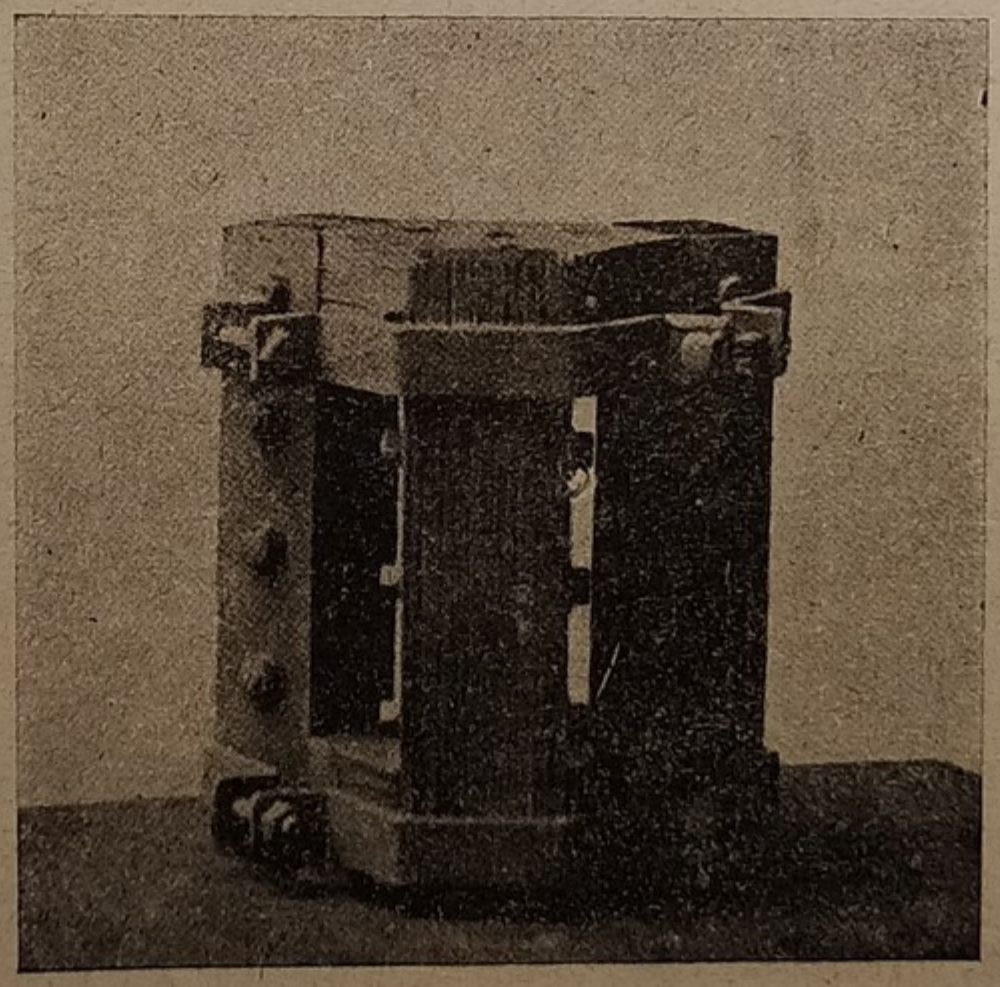


Fig. 147. — Nucleo magnetico del trasformatore trifase.

Fig. da 143 a 147. — Apparecchio **Ponzini** pel riscaldamento dei liquidi.

drico in lamiera di ferro, coassiale con esso e di esso più ampio e più alto. Le correnti indotte circolano longitudinalmente nelle pareti dei piccoli tubi nonché nella parete del tubo prin-

cipale più intensamente secondo tanti segmenti trasversali di questo quanti sono i piccoli tubi, generandovi il calore che dalle pareti stesse viene ceduto all'acqua in contatto.

Nelle figure 148 e 149 vedesi lo schema e la prospettiva di un

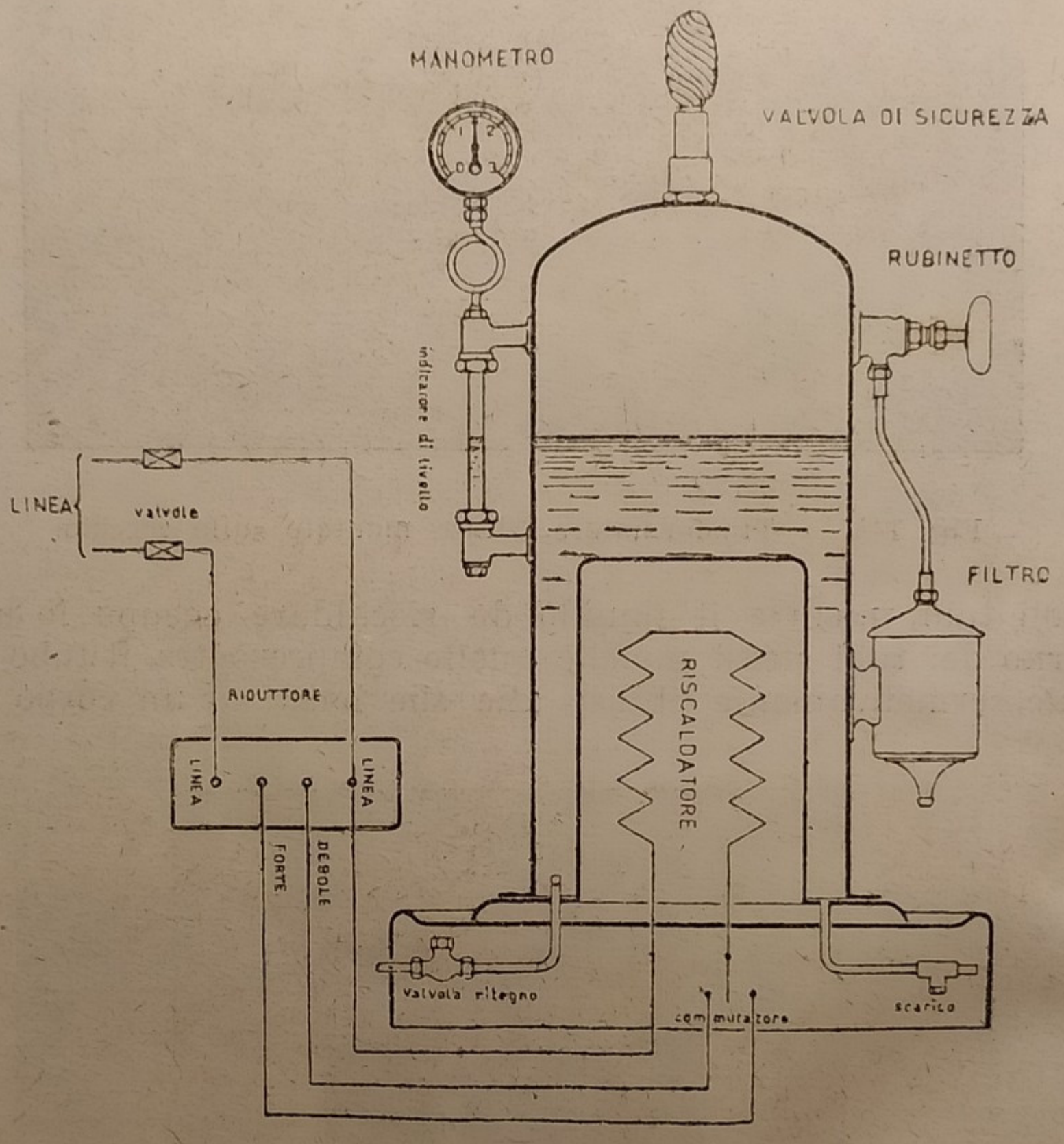


Fig. 148. — Schema.

apparecchio di tale tipo destinato alla preparazione del caffè in bevanda.

Il tipo monofase del riscaldatore non differenzia da quello trifase che nel trasformatore e nei tubetti interni al tubo principale, i quali sono rettilinei, paralleli e disposti secondo altrettanti diametri di sezioni trasversali del tubo stesso.

La teoria di questi apparecchi a induzione può essere ricondotta a quella degli ordinari trasformatori monofasi o trifasi. Per la calcolazione delle pareti che cedono calore all'acqua si seguirà lo stesso procedimento che trovasi esposto a pag. 164-165.

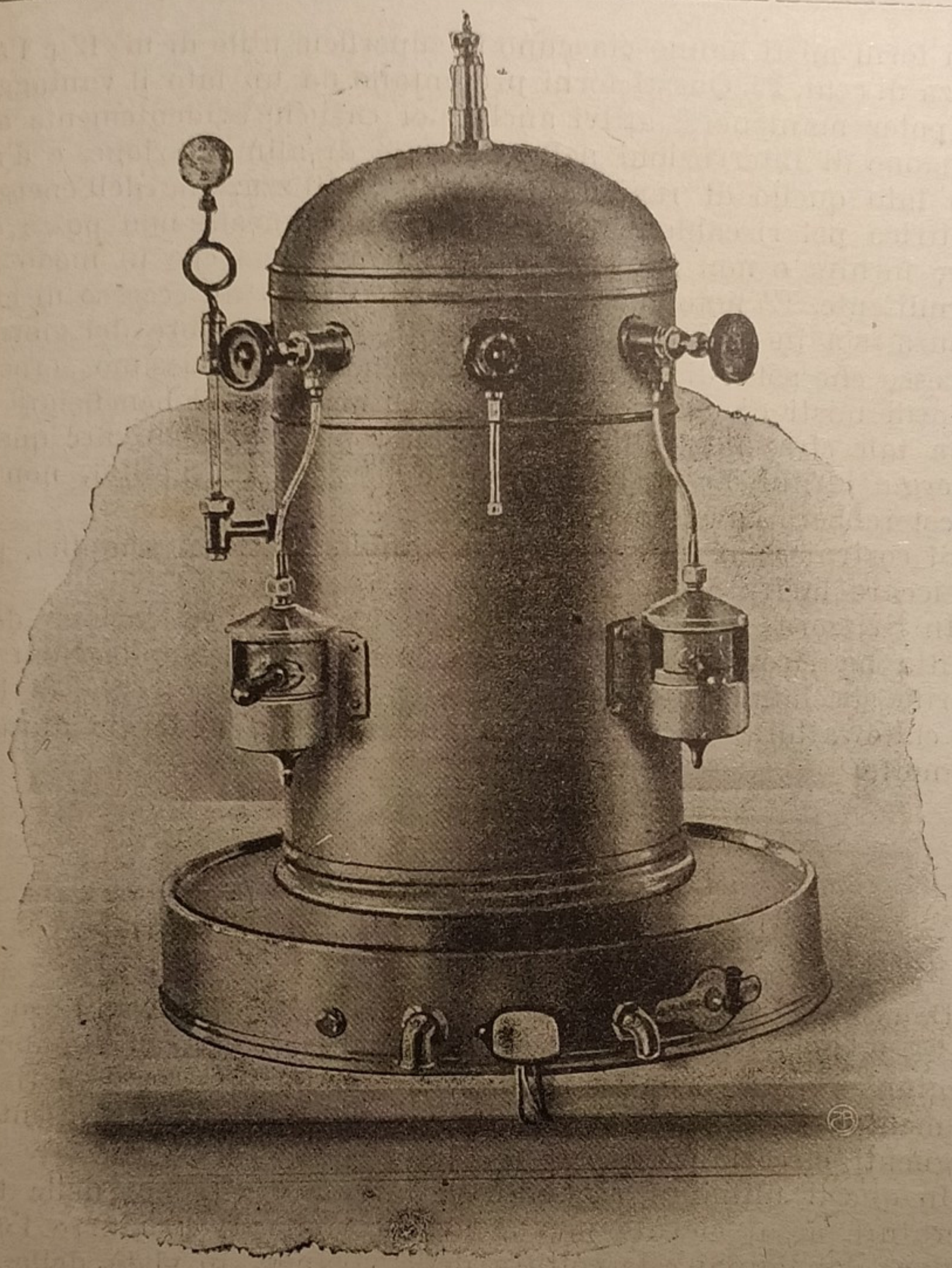


Fig. 149. — Vista esterna.

Fig. 148 e 149. — Caffettiera **Ponzini**.

Riscaldamento misto (elettrico e ordinario).

Sono pure in uso dei forni, specie nelle prestinerie e pasticcerie, i quali si prestano all'impiego sia promiscuo e sia distinto del riscaldamento ordinario (a legna, a carbone o a gas) e di quello elettrico. In generale questi forni sono doppi e consistono in un forno inferiore che può essere riscaldato elettricamente, e in un forno superiore che può essere riscaldato con legna e carbone. I due forni elementari sovrapposti costituenti uno di

tali forni misti hanno ciascuno la superficie utile di m² 12 e l'altezza di cent. 26. Questi forni presentano da un lato il vantaggio di poter mantenersi attivi anche nei casi che evidentemente avvengono di interruzioni nella corrente di alimentazione, e d'altro lato quello di rendere possibile l'utilizzazione dell'energia elettrica pel riscaldamento anche quando questa non possa essere fornita o non sia conveniente acquistarla che in modo intermittente. E' noto che molte centrali hanno un eccesso di efficienza, sia in alcune stagioni, sia in parecchie ore del giorno, eccesso che sono disposte a vendere a prezzo bassissimo: orbene i forni misti di cui si fece cenno permettono di beneficiare di una tale circostanza. Essi consentono pure di utilizzare quelle energie idrauliche che, in causa della loro variabilità, non si presterebbero ad altro utile impiego.

Si costruiscono inoltre dei forni analoghi, assai semplici, per essiccare la frutta.

In Svizzera il riscaldamento elettrico per l'essicazione delle frutta ha ricevuto testè delle assai importanti applicazioni favorite specialmente dal prezzo assai basso (1 centesimo di lira al chilowattora) a cui all'uopo viene fornita l'energia durante la notte.

Calcolazione degli apparecchi pel riscaldamento dei liquidi e delle vivande.

Dopo quanto si è esposto nella prima parte di questo libro circa il modo di calcolare i caloriferi elettrici, poco ci rimane da aggiungere intorno alla calcolazione degli apparecchi di riscaldamento dei liquidi e degli alimenti. Basterà tener presenti le seguenti circostanze.

In questi ultimi apparecchi si dovranno ottenere delle temperature assai elevate perchè sia possibile di produrre l'ebollizione dei liquidi e la cottura delle vivande, in vista delle inevitabili perdite di calore dalle pareti e dalle aperture dei recipienti in cui sono contenuti. Inoltre, mentre l'aria ha poca attitudine ad assorbire il calore, i liquidi da riscaldare pei bisogni domestici ne sono avidissimi e, in condizioni adatte, prontamente lo immagazzinano in sè. Se la parete con cui il liquido è in contatto e trasmette ad esso calore è metallica e ben detersa dalle incrostazioni, essa oppone una resistenza interna insignificante al passaggio del calore, tanto che si può ammettere sotto questo rispetto che la medesima non esista.

Distingueremo gli apparecchi nei quali la trasmissione del calore alla sostanza da sottoporsi al riscaldamento, alla ebollizione od alla cottura avviene per irradiazione diretta o riflessa (apparecchi nei quali si utilizzano resistenze metalloceramiche

o di silicio, lampade ad arco o a incandescenza) da quelli in cui tale trasmissione avviene per contatto (apparecchi nei quali si utilizzano resistenze disposte su mastici isolanti o in essi allogati, apparecchi magnetici, ecc.) e considereremo due casi tipici relativi rispettivamente alle due accennate categorie di apparecchi.

1° Caso. — *Trasmissione del calore per irradiazione.* — Supponga si che trattisi di riscaldare dell'acqua in un recipiente il quale presenti internamente una capacità cilindrica in cui si possa introdurre la resistenza riscaldante pure cilindrica ed inoltre coassiale con detta capacità e di pari altezza. L'acqua da riscaldare sarà così compresa tra la parete esterna del recipiente e la cavità interna in cui trovasi la resistenza irradiante calore.

Dato il peso P in chilogrammi dell'acqua, il tempo massimo θ in $''$ in cui vuolsi portarlo dalla temperatura iniziale centigrada da t_1 alla temperatura finale centigrada t_2, la superficie s del vaso destinata a ricevere il calore irradiato e il relativo coefficiente di irradiazione i_1, conoscendosi inoltre la differenza di potenziale in volta, il coefficiente di irradiazione i della sostanza destinata a comporre la resistenza (che riterremo priva di autoinduzione), di cui chiameremo R il valore ohmico e t la temperatura centigr., si potranno stabilire le relazioni

$$P\ \frac{(t_2 - t_1)}{0,8\ \theta} = \frac{E^2}{R \times 4170} = S\ y\ (t - t^1)\ i = s y (t - t^1)\ i_1$$

ove 0,8 è il rapporto tra il calore utilizzato e quello generato, t^1 è la temperatura in gradi centgr. della parete che riceve calore, S è la superficie irradiante e y ha il significato definito a pag. 109. Il valore di i_1 non può essere influenzato dalla temperatura e sarà eguale a 3,36 se la parete che riceve il calore è metallica e non lucente: il valore di i dovrà essere invece riferito alla temperatura t nel caso che questa sia così elevata da modificare il potere emissivo della resistenza destinata a fornire il calore.

Da queste relazioni ricavasi che il valore massimo di t, che corrisponde a $t^1 = t_2$, è dato da

$$y\ (t - t_2) = \frac{P\ (t_2 - t_1)}{0,8\ \theta\ s\ i_1}\ .$$

Ricorrendo alla formola o alla tabella a pag. 108 e 110 si potrà da questa equazione desumere il valore di t.

Deducesi inoltre che la superficie S della resistenza è espressa da

$$S = s\ \frac{t_1}{i}\ .$$

Ma dalle relazioni stesse risulta che il valore ohmico della resistenza è dato da

$$\frac{4\,l\,\rho_t}{\pi\,d^2} = \frac{0{,}8\,E^2}{4170 \times P\,(t_2 - t_1)},$$

chiamandone ρ_t la resistività alla temperatura t, d il diametro e l la lunghezza; diguisachè l e d dovranno essere legati sia da questa e sia dalla relazione

$$\pi\,d\,l = s\,\frac{i_1}{i}.$$

Ricavando da questa relazione

$$l = s\,\frac{i_1}{i\,d\,\pi}$$

e ponendolo nella precedente, si otterrà

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\,P\,(t_2 - t_1)\,s\,i_1\,\rho_t\;4170}{0{,}8\,E^2\,\theta\,i\,\pi^2}}.$$

Noto così d si potrà calcolare il corrispondente valore di l.

2° Caso. — *Trasmissione del calore per contatto.* — L'apparecchio riscaldante sia magnetico (sistema Verole, fig. 139 a 142), sia di ghisa stagnata e sia immerso completamente nell'acqua da riscaldare, contenuta in vaso aperto. La quantità di calore ceduto da quello a questa nell'unità di tempo dipenderà dal salto utile di temperatura, dalla forma e dalle dimensioni delle superfici riscaldanti e dalle loro direzioni nell'acqua, analogamente a quanto avviene per un corpo immerso nell'aria; il coefficiente di trasmissione termico relativo all'acqua, come già si disse, è però di gran lunga superiore a quello relativo all'aria. Se ci fosse noto cotesto coefficiente afferente all'acqua in correlazione alle condizioni delle superfici riscaldanti, potremmo procedere in modo identico a quello esposto nel Capitolo a pag. 107 nella calcolazione dell'apparecchio di riscaldamento.

Conoscendo invece soltanto alcuni valori approssimati di tale coefficiente, che in condizioni favorevoli e quando l'acqua é in vaso aperto e non bolle si può ritenere tale che per ogni m². di superficie riscaldante e per ogni ora ed ogni grado di differenza di temperatura siano trasmesse 1000 calorie, stabiliremo la relazione

$$\frac{P\,(t_2 - t_1)}{0{,}8\,\theta} = S\,\frac{1000}{3600}\,(t - t_2),$$

ove t rappresenta la temperatura in gradi centgr. del nucleo riscaldante percorso dai flussi magnetici alternativi e gli altri simboli hanno lo stesso significato come nel caso precedente, mentre t_2 deve avere un valore inferiore a 100° C. Da questa equazione assumento t, si potrà dedurre S. Noto S si potrà nell'identico

modo esposto a pag. 112 determinare lo spessore del nucleo affinchè questo fornisca la potenza termica

$$\frac{P\ (t_2 - t_1)}{0{,}8\ \theta}.$$

Se l'acqua bolle, il coefficiente di trasmissione del calore salirà a circa 5500; in tal caso sarà

$$t_2 = 100 \quad \text{e} \quad t = \frac{3600\ P\ (100 - t_1)}{0{,}8 \times 5500\ S \times \theta} + 100.$$

Pertanto la temperatura del nucleo supposto immerso nell'acqua fredda salirà dall'istante in cui vi si inizia l'immessione della corrente sino all'istante in cui l'acqua comincierà a bollire; in questo secondo istante subirà un forte abbassamento per risalire non appena, in causa delle dispersioni del calore, l'acqua cessasse dal bollire, e così via via.

* * *

Aggiungeremo che su questo soggetto della trasmissione del calore da una parete metallica all'acqua ci occorse di rilevare parecchie inesattezze in alcune pubblicazioni. E così dalla circostanza che in un recipiente metallico contenente dell'acqua ed immerso completamente nelle fiamme non si possono produrre al massimo che 100 chilogrammi di vapore per m.² della superficie riscaldante durante un'ora, si volle arguire che un decim.² di parete metallica in contatto coll'acqua non sia suscettibile di assorbire più di 6, 19 ettowatt al ". Ma non si è badato che nel caso considerato il maggiore ostacolo alla trasmissione del calore è dovuto alla difficoltà che questo incontra nell'abbandonare i gas per portarsi alla parete metallica; mentre se questa, invece di essere in contatto da un lato coi gas caldi e dall'altro lato coll'acqua, separasse due volumi d'acqua, la trasmissione del calore attraverso ad essa avverrebbe con molta minor difficoltà. Con gli apparecchi Verole di riscaldamento e con quelli in cui si utilizzano fili o nastri metallici racchiusi in mastici isolanti, oppure sottili pellicole metalliche che rivestono i mastici stessi, la trasmissione del calore all'acqua producendosi senza l'intervento dell'aria o di altro gas, la potenza di assorbimento dell'acqua pel calore per unità della superficie trasmettente dovrà essere molto maggiore. (Veggasi su questo argomento la memoria di E. Rogowsky, *Sui fili d'argento immersi nell'acqua,* inserita nei « Comptes rendus », vol. CXXXVI).

Secondo esperienze effettuate da Austin, la resistenza al passaggio del calore da un inviluppo metallico all'acqua in ebolli-

zione con esso in contatto è pari a quella opposta da uno spessore di ferro da 1,2 a 2 centimetri oppure di 0,75 centimetri secondochè il liquido è in riposo oppure è agitato meccanicamente. Se il liquido non è in ebollizione la resistenza è nei due casi di 10 centimetri e di 1 centimetro di spessore di ferro. Nel passaggio inverso del calore dall'acqua al metallo la resistenza è più grande che precedentemente se l'acqua non è agitata: se invece è agitata la resistenza è la stessa nei due casi.

Costo del riscaldamento dei liquidi e degli alimenti.

Come già si disse, sul costo delle vivande servite in tavola non influisce molto quello dell'energia elettrica che ne produsse la cottura quando tale energia si possa avere ad un prezzo non eccessivo e cioè non superiore a L. 0,30 il chilowattora. In Francia ed in Germania parecchie centrali idroelettriche vendono il chilowattora pei piccoli consumi d'uso domestico a L. 0,20. Lo stesso è a ritenersi che si possa praticare in Italia. In base a tale costo per una costoletta, che potrà valere sulla mensa L. 0,80, la spesa di corrente sarà al massimo di L. 0,017 (4,5 ampère sotto 110 volta durante 10 minuti).

Un litro d'acqua si può riscaldare da 15° C. a 100° C. in 12 minuti consumando 106,25 calorie, ammettendo il rendimento dell'80 %, e cioè 615 watt durante i 12 minuti, il qual consumo richiederà la spesa di circa L. 0,025.

Ma con un litro d'acqua bollente si possono ottenere delle bibite (caffè, brodo, limonata, ecc.) a fronte del cui costo ha poca importanza la accennata spesa di 2,5 cent. Inoltre per cucinare un pranzo per quattro persone comprendente zuppe, lessi con legumi, costolette di vitello con legumi, e che al ristorante costerebbe L. 12, occorre il consumo di 2,2 chilowattora, a cui corrisponderebbe la spesa di L. 0,44 circa. Un pranzo pure per quattro persone e dello stesso valore, ma costituito da soglie al vino bianco con patate a lesso, costolette con patate fritte e fritelle soffiate, richiede soltanto il consumo di 1,8 chilowattora, e cioè la spesa di L. 0,35. La stessa spesa per l'energia elettrica importa un pranzo per sei persone, del valore di L. 18 circa, consistente in filetti di soglia alla portoghese, patate a lesso, *chateaubriand* con salsa bernese, patate fritte, piselli alla francese e albicocche alla Condé. Questi consumi saranno suscettibili di riduzione con apparecchi più perfezionati. Con una spesa insignificante si possono mantenere caldi i piatti e le vivande nella dispensa.

Il consumo di energia elettrica per pasto e per persona si può ritenere mediamente di 300 wattore.

L'industriale che produce da sè l'energia pei proprii bisogni mediante un impianto idroelettrico oppure l'acquista a prezzo fisso (*à forfait*) può evidentemente ottenere il calore per la propria cucina e pel refettorio del suo personale ad un prezzo limitatissimo.

La spesa d'impianto di una cucina elettrica non supera quello di una cucina a gas.

Assai conveniente risulta il costo del riscaldamento elettrico nelle applicazioni alle pasticcerie e prestinerie. Un forno da pane installato a Bregenz, lavorando dalle quattro alle dodici, nel qual tempo la corrente vi è fornita a prezzo bassissimo, assorbe poco più di 14 chilowatt per la fornitura di circa 850 chg. di pane. Un forno analogo fu installato a Davos e funziona ininterrottamente 6 mesi all'anno. Ivi il prezzo del chilowattora essendo di 5 cent. di lira, la cottura di ogni chg. di pane viene a costare 1,4 cent. di lira.

A Milano, nella pasticceria Cavenaghi, funziona da molto tempo un forno con resistenza in silicio cristallizzato, della potenza di 15 chilowatt, al quale la Società Edison fornisce l'energia elettrica al prezzo di cent. 6 il chilowattora dalle ore 20 alle 7.

Degno di nota è un forno elettrico entrato già nell'uso pratico che permette l'introduzione del pane da cuocere e l'uscita del pane cotto e la caduta di questo nelle ceste, il tutto automaticamente, senza che sia toccato da alcuno.

Circa i forni elettrici da pane, che si sono assai diffusi in Svizzera, aggiungeremo ancora che quelli di recente costruzione sono ad un solo piano sino a 6 m.^{2} della suola della camera di cottura. Per superfici maggiori si fanno di due o più piani. Il forno di tipo più comune è quello da 12 m.^{2} Esso può contenere da 16 a 18 chilogrammi di pane per metro quadrato e cioé complessivamente in media 200 chili di pane. Da accurate esperienze eseguite su questo tipo di forno, risulta che occorrono 72 chilowatt durante un'ora e mezzo per portarlo alla temperatura di regime, che varia da 250° C. a 300° C.; e che occorrono in seguito 33 chilowatt durante un'ora e tre quarti per cuocervi una infornata di 200 chilogrammi di pane. Lavorando al completo senza interruzione il forno assorbe un quantitativo di energia che è mediamente di 300 wattore per chilogrammo di pane. Lavorando soltanto mezza giornata tale consumo sale a circa 500 wattore. E' bene tener presente per determinare il risparmio di combustibile che si può ottenere coi forni elettrici, come coi grandi forni a vapore i più perfezionati si richieda il consumo di 16 chilogrammi di carbone per ogni quintale di pane.

Infine ad un prezzo limitatissimo si potrà avere l'acqua occorrente per la cucina, ad uso bevande, pel bagno, ecc., mercè l'impiego degli accumulatori elettrotermici costituiti da serbatoi con parete coibente contenenti dell'acqua che viene ri-

scaldata mercè i cosidetti cascami dell'energia elettrica, accumulatori dei quali si tratterà nell'ultima parte di quest'opera. (V. pag. 205).

Aggiungasi che pel caso in cui non si possa disporre di energia idroelettrica si è prospettata la convenienza anche economica di impiegare, in sostituzione del gas, dell'energia elettrica per la cucina e pel riscaldamento dei liquidi, generandola per un caseggiato od un gruppo di case a mezzo di una centralina a combustibile gassoso funzionante a carico costante, e ricorrendo così necessariamente, come ben s'intende, all'uso dei detti accumulatori elettrotermici.

Per quanto riguarda sia i prezzi unitari dell'energia elettrica e del carbone e sia i denaturatori della corrente rimandiamo il lettore a quanto dicemmo al capitolo a pag. 139.

III.

Altre applicazioni del riscaldamento elettrico.

Meritano pure un cenno altri apparecchi d'uso domestico, come scaldapiedi (figure da 150 a 154), scaldaletti (figure 155 e 156), lavabi (fig. 157), scaldabagni, (fig. 158 e 159), accendisi-

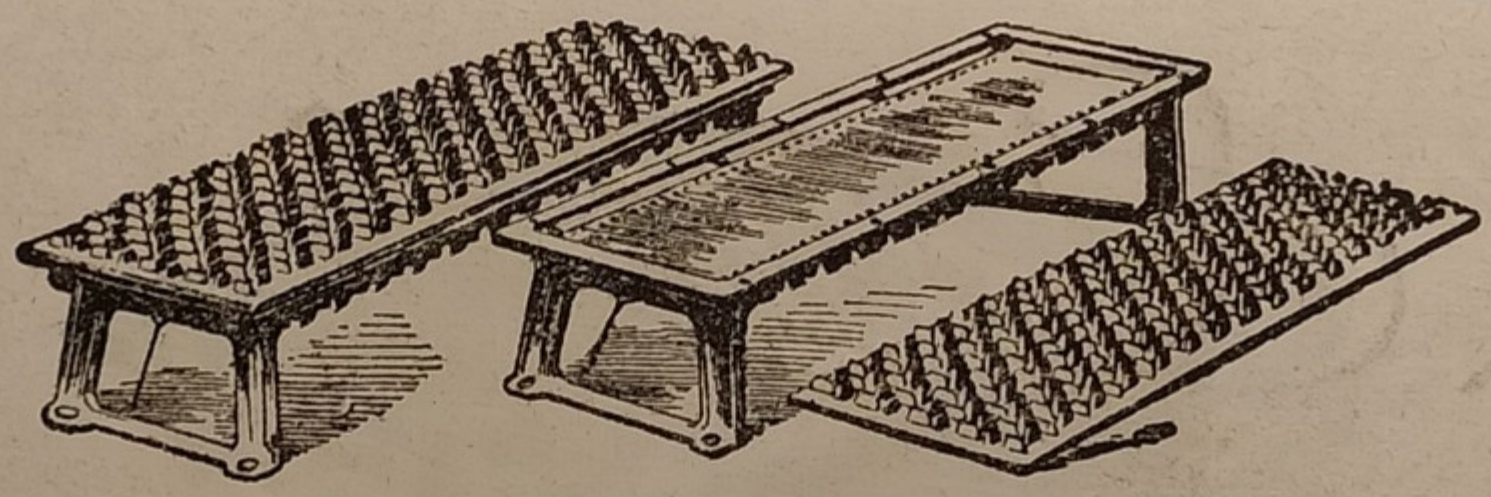


Fig. 150. — Scaldino — Consta di un piccolo quadro di resistenza avvolto da amianto e disposto su uno sgabello. Superiormente porta una piastra di ghisa munita di nervature.

gari, ferri per soppressare (fig. 160 a 162), riscaldatori per ferri da soppressare (figure 163 e 164), per ferri da arricciare i baffi e i capelli (figure 165 e 166), macchinette per abbruscare il caf-

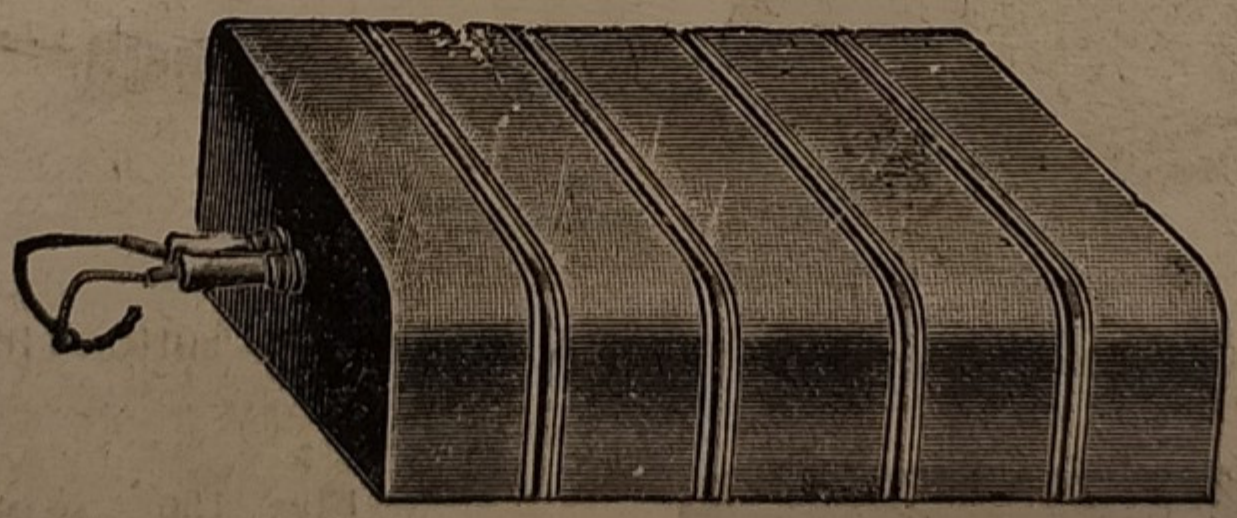
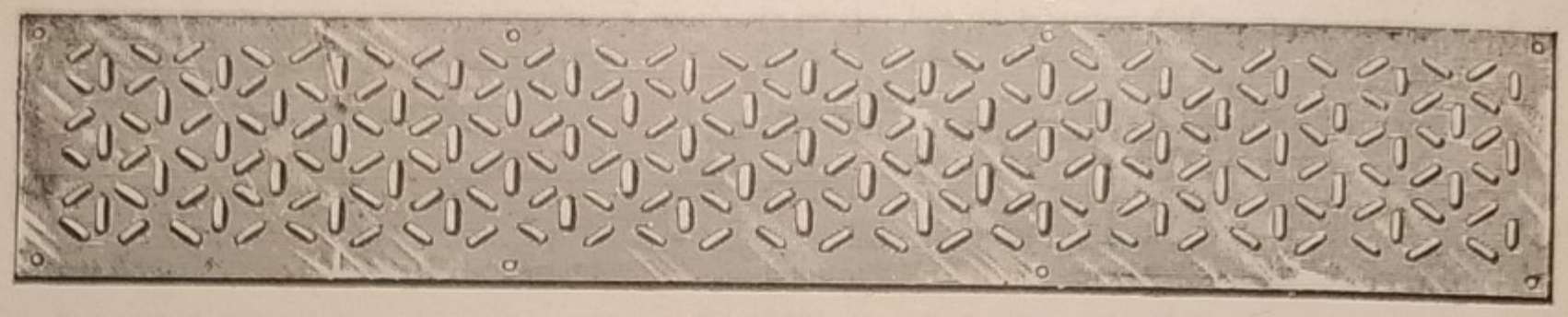


Fig 151. — Scaldapiedi o nichellato o rivestito di stoffa.
Dimensioni: cent. 35 × 30 × 10 — Consumo 0,25 ampère sotto 110 volta.

fè, essicatoi dei capelli (fig. 167), sterilizzatori del latte (fig. 168 e 169) ecc. nei quali il calore con gli svariati modi precedentemente accennati è generato a mezzo della corrente elettrica. Que-

Fig. 152. — Pianta.



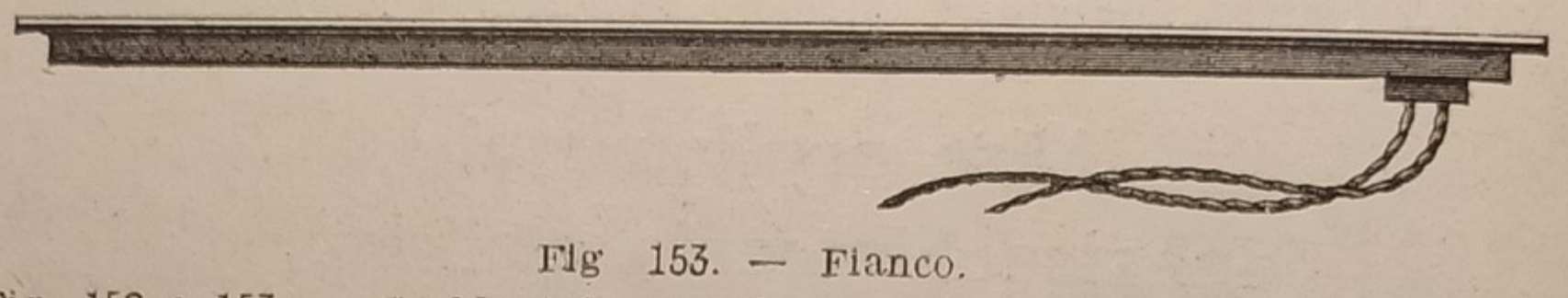


Fig 153. — Fianco.

Fig. 152 e 153. — Scaldapiedi metalloceramico per ferrovie e tramvie elettriche da applicarsi direttamente sul pavimento.

Questi scaldini sono applicati ad un gran numero di vetture con corridojo longit. e terrazzini della ferrovia elettrica da Parigi a Versaglia. La loro lunghezza e larghezza sono rispettivamente di 80 e 14 cent. Essi funzionano sotto 110 volta ai capi svolgendo 110 watt. Sono perfettamente ermetici onde non possano dar luogo a corti circuti a cagione dell'umidità.

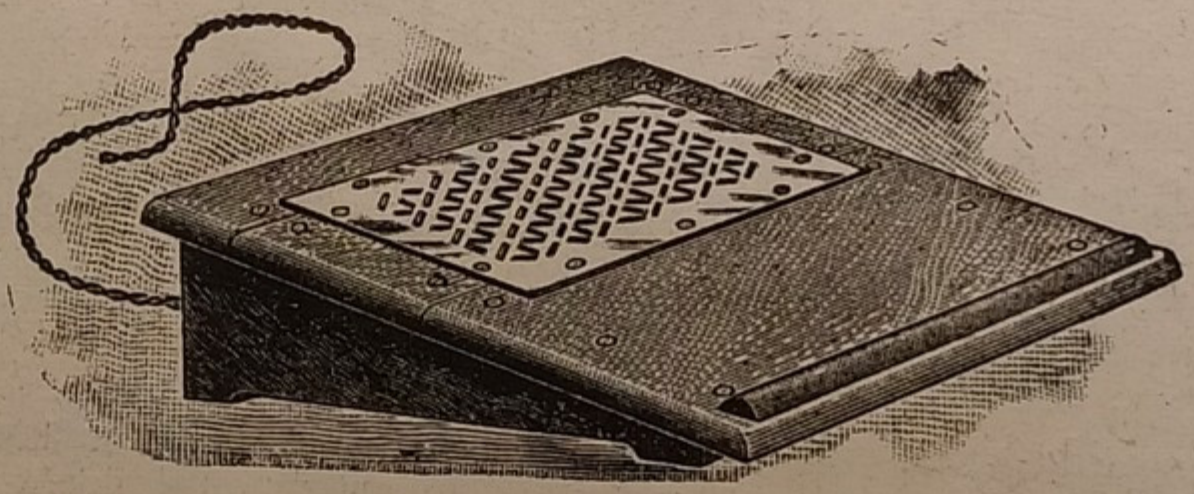


Fig. 154 — Scaldapiedi con resistenze metallo-ceramiche, in legno con placca di rame.

Dimensioni: cent. 32×92. Consumo: 0,5 ampère sotto 110 volta.

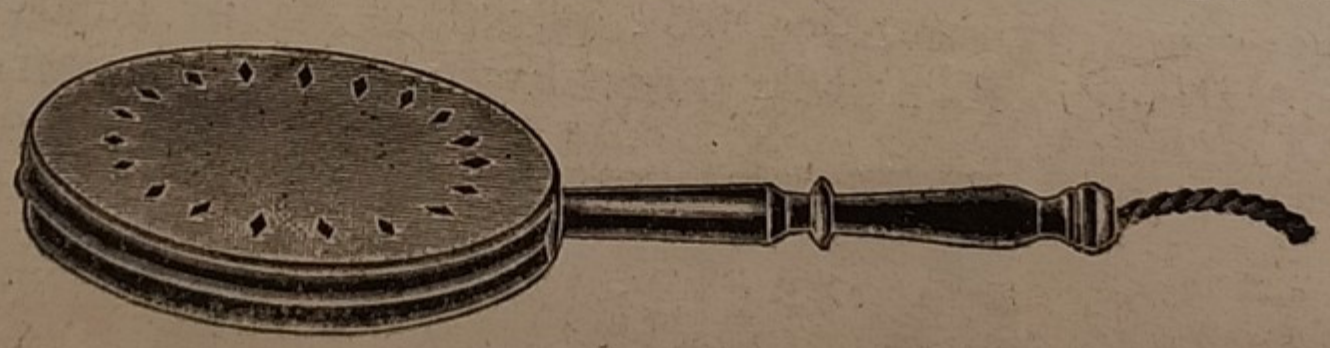


Fig. 155. — Scaldaletto.

Diametro: 24 cent. — Consumo: 0,25 ampère sotto 110 volta.

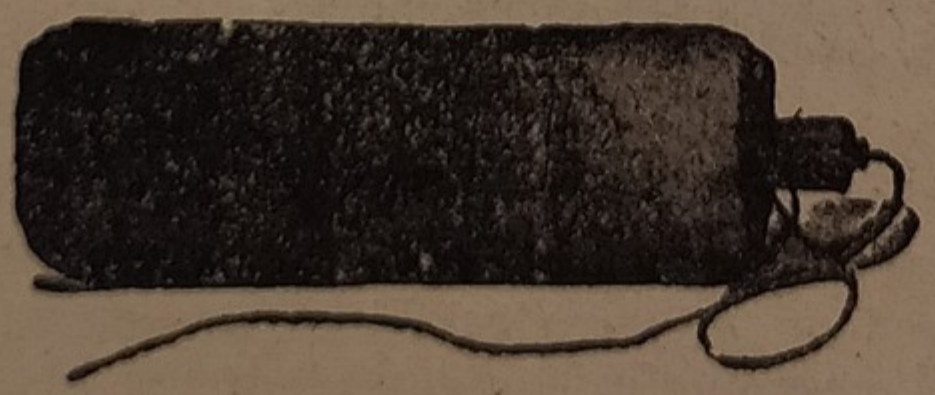


Fig. 156. — Scaldaletto con resistenza metallo-ceramica, in ottone con inviluppo di molleton.

Consumo: 0,2 amp. sotto 11 volta

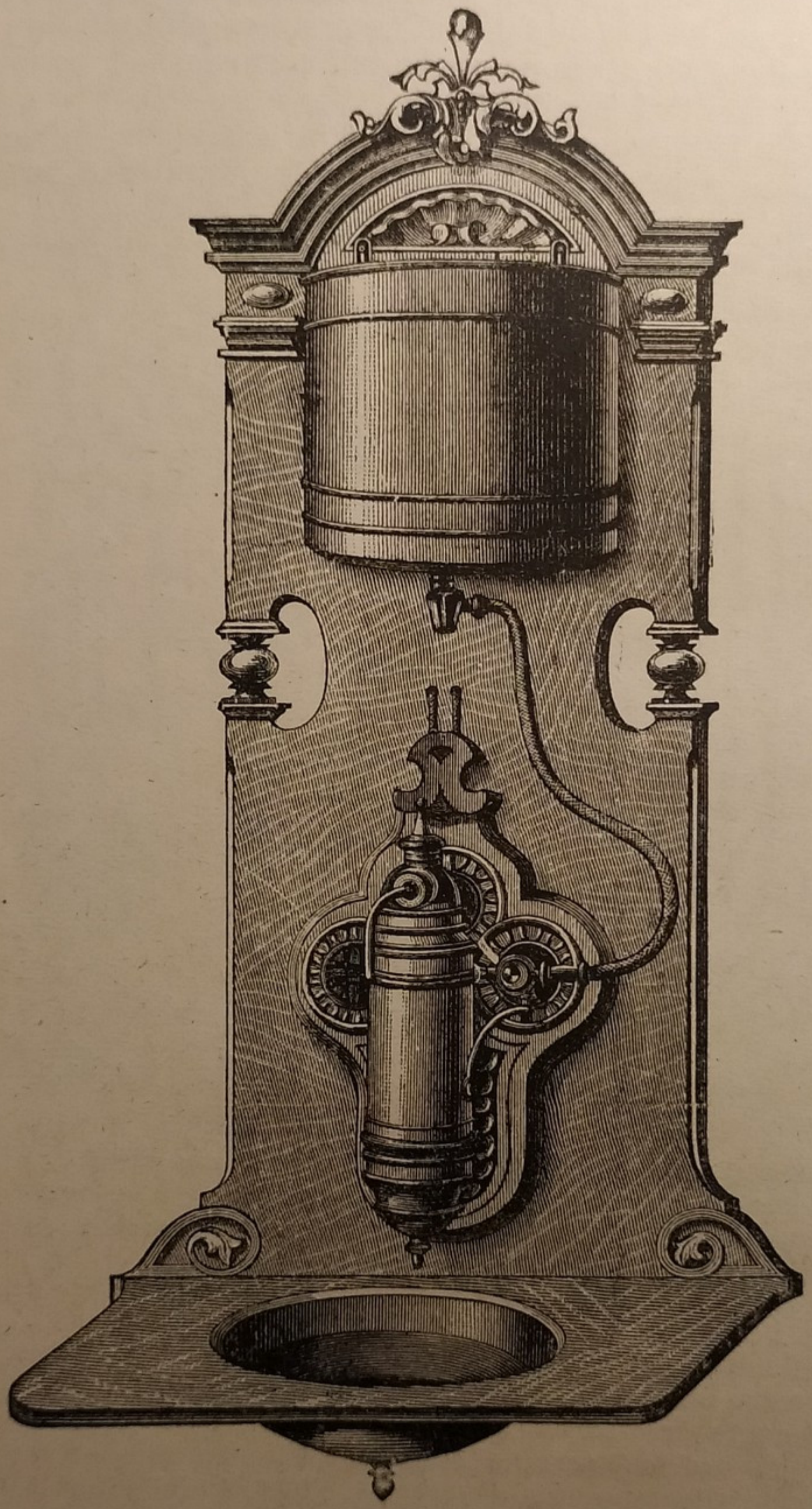


Fig. 157. — Lavabo.

L'apparecchio elettrotermico di questo lavabo è analogo a quello pei bagni rappresentato dalla fig. 158

sta viene distribuita ai detti apparecchi nei modi indicati alla pag. 20 (figure da 1 a 5) dalla stessa rete di alimentazione dell'illuminazione, col concorso anche nel caso che essi siano amovibili, di conduttori flessibili.

La figura 170 indica un apparecchio d'uso non infrequente nei grandi negozi delle città del nord per impedire la formazione della brina sui vetri delle bacheche.

Lo scaldabagno è costituito essenzialmente da un serpentino

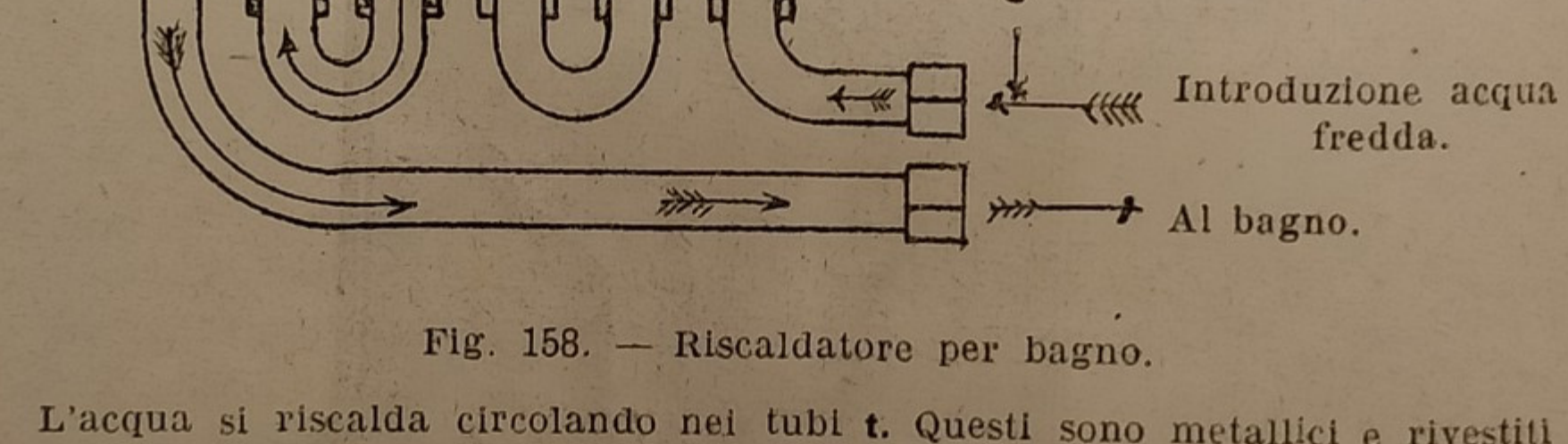


Fig. 158. — Riscaldatore per bagno.

L'acqua si riscalda circolando nei tubi **t**. Questi sono metallici e rivestiti esternamente da un mastice isolante in cui sono allogati i conduttori metallici della corrente. Disponendo opportunamente i circuiti elettrici dei singoli tubi, si potrà regolare la temperatura del bagno.

in cui l'acqua arriva fredda e da cui esce calda per versarsi nella vasca del bagno; il serpentino è metallico ed è rivestito esternamente da tubi in mastice isolante in cui sono allogati i conduttori ove la corrente circola trasformandovisi in calore. Collegando diversamente i circuiti elettrici dei singoli tubi si potrà ottenere che l'acqua effluente nel bagno abbia la temperatura che più si desidera. Analoga è la costruzione dei lavabi elettrici.

Gli scaldapiedi e gli scaldaletti contengono in generale c

delle resistenze metalliche avvolte da amianto o delle resistenze metallo-ceramiche.

Nei ferri per soppressare si impiegano per la produzione del calore o dei sottilissimi veli di metalli preziosi o delle resistenze

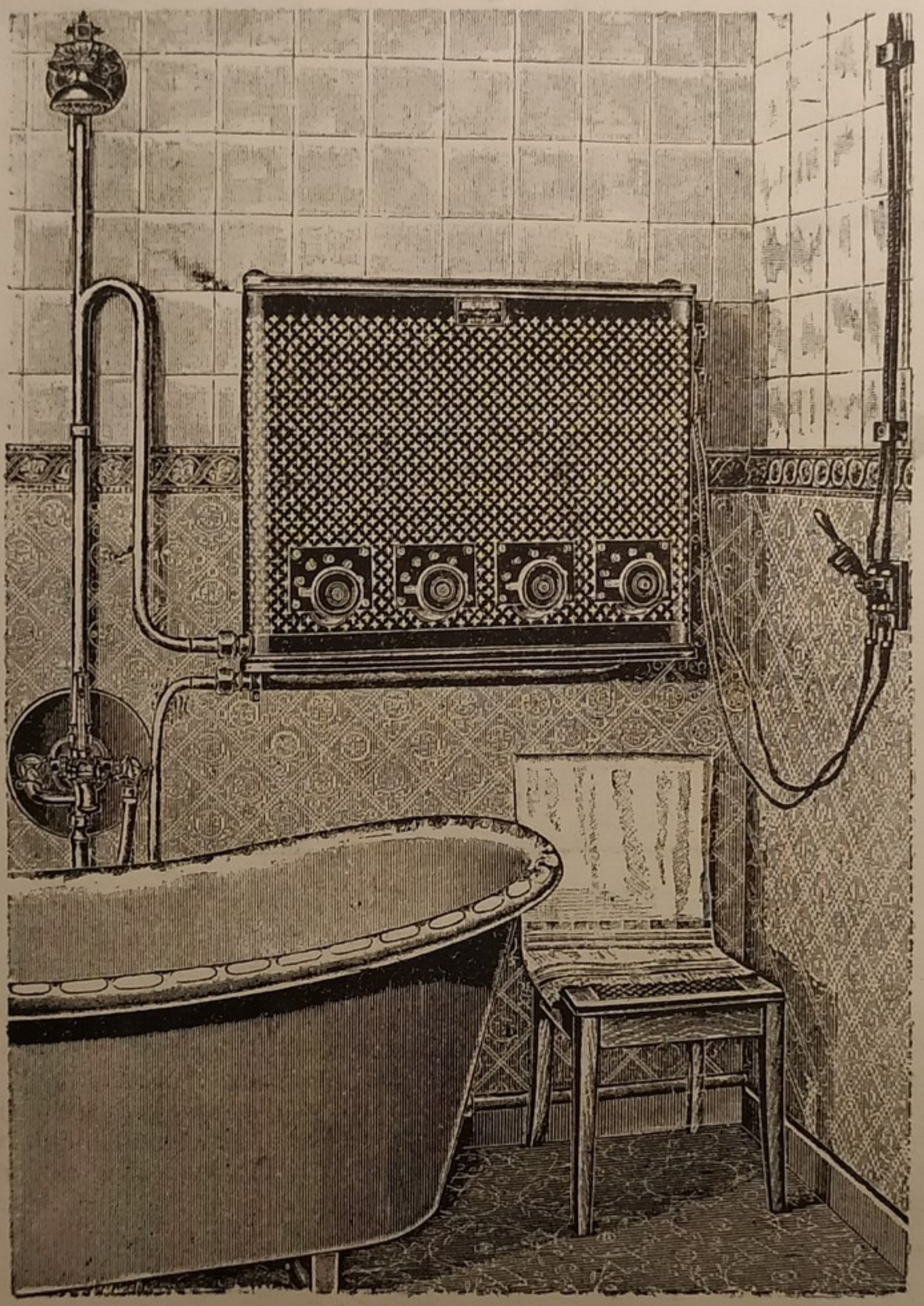


Fig. 159. – Bagno con riscaldamento elettrico.

metalloceramiche percorsi da correnti o infine anche degli archi voltaici.

I ferri per soppressare del tipo comune in ghisa massiccia costrutti per essere riscaldati colla brace o colla fiamma a gàs si possono pure riscaldare elettricamente di volta in volta disponendoli contro i tre poli, uno centrale e due laterali, di un elettromagnete tripolare alimentato da corrente monofase. Il

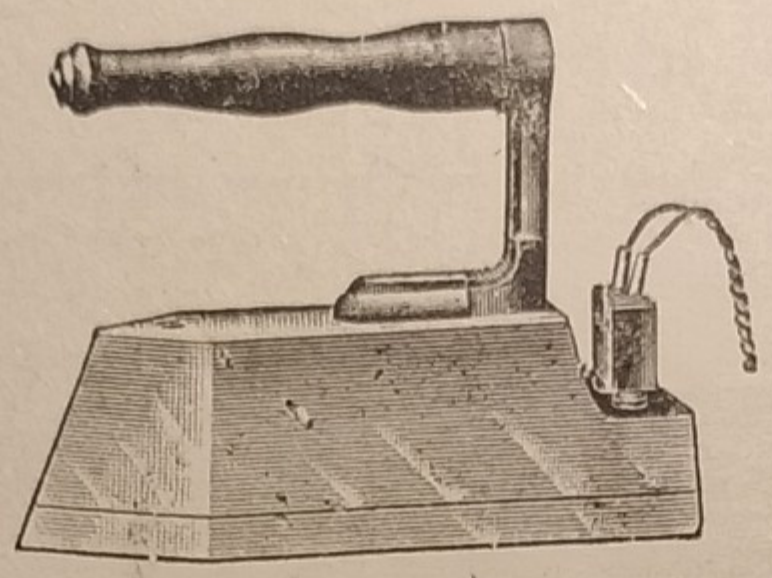


Fig. 160. — Ferro per soppressare **Prometeo** nichelato.

Peso: kg. 6. Consumo: circa 5,5 amp. sotto 110 volta.

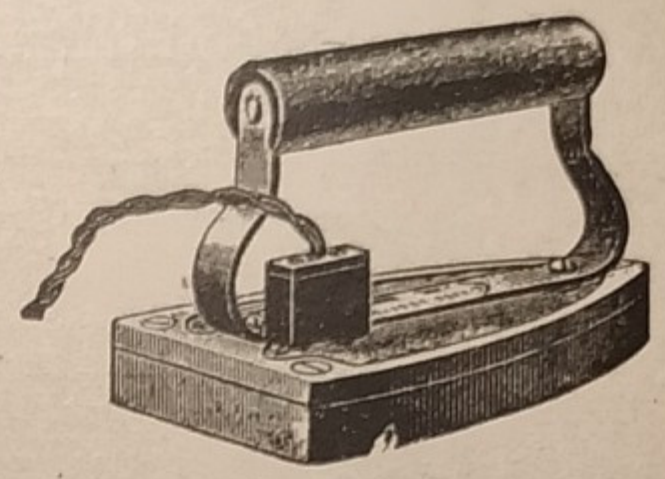


Fig. 161. — Ferro per soppressare con resistenza metalloceramica, in ghisa e rame con impugnatura in legno.

Consumo: 2 amp. sotto 110 volta.

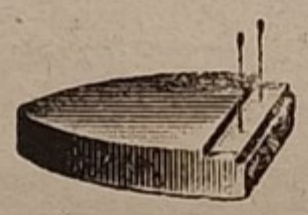


Fig. 162. — Corpo calorifico con resistenza filiforme racchiusa in un imbottito di amianto (pag. 81), per ferri per soppressare.

Dimensioni: 145×70×25 millimetri.

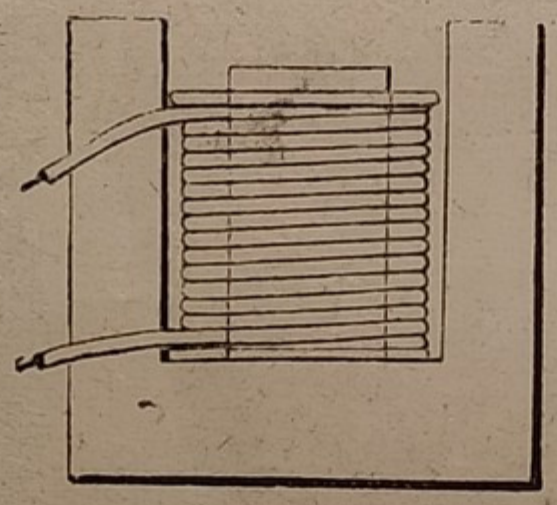


Fig. 163. — Fronte

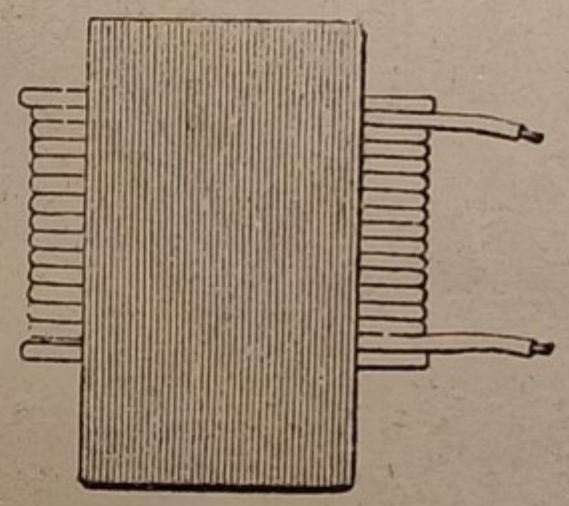


Fig. 164. — Fianco

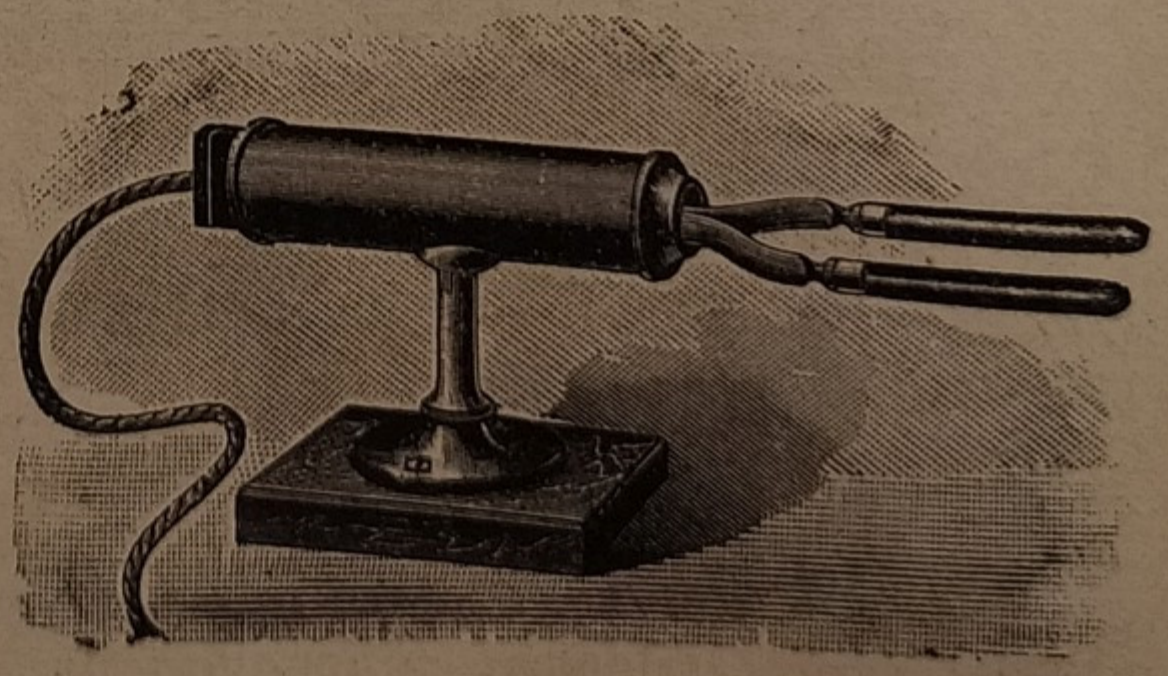
Elettromagnete tripolare **Kennedy** per riscaldare i ferri da soppressare (fig. 163 e 164).

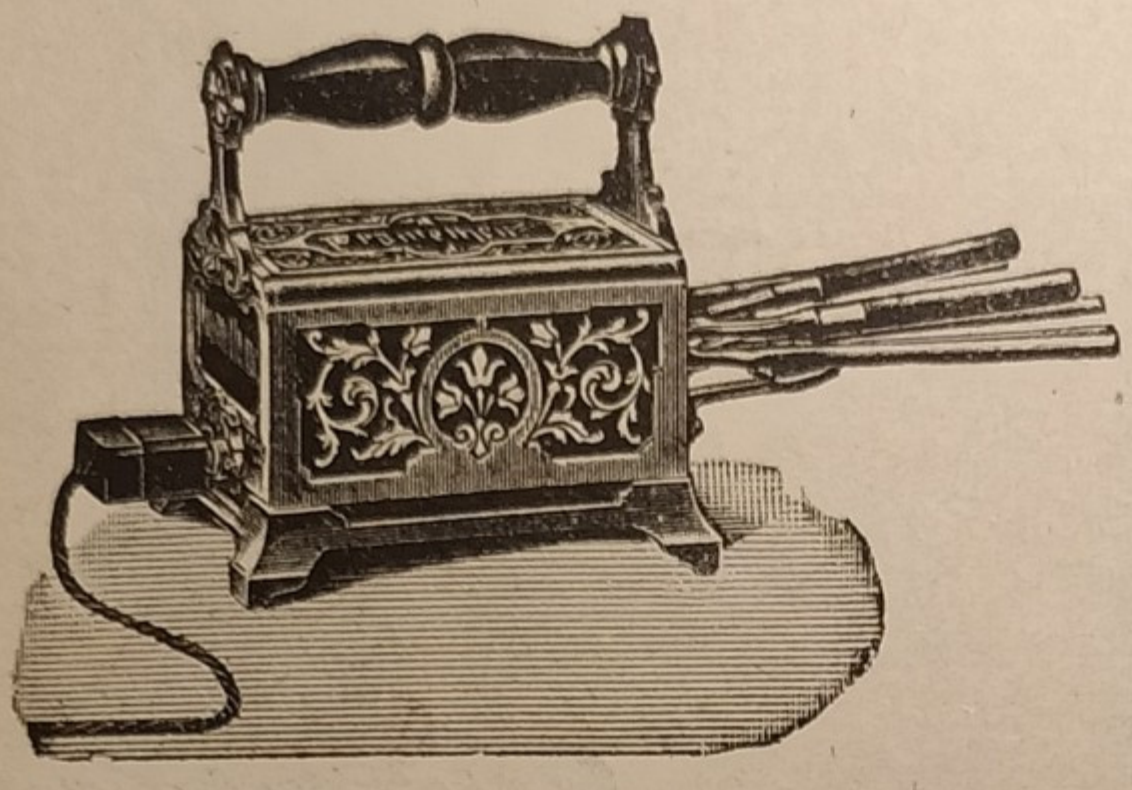
Il nucleo di questo elettromagnete, che è alimentato da correnti alternative, è lamellato e le lamelle sono tra di esse isolate perchè sia tenue e trascurabile il riscaldamento prodottovi dalle correnti parassite. Il cosidetto ferro da soppressare, che è di ferro o di ghisa assai dolce e massiccio, per riscaldarlo lo si dispone sul polo interno per modo che tocchi lateralmente gli altri due poli facendolo così attraversare dai due flussi magnetici alternativi generati nel nucleo.

Fig. 165.

Scaldaferri per arricciare, di rame nichelato con zoccolo in marmo.

Consumo: 1 amp. sotto 110 volta.





166. — Scaldaferri per arricciare in ghisa nichelato.

Apertura:

mm. 80 × 35.

Consumo:

3 amp. sotto 110 volta.

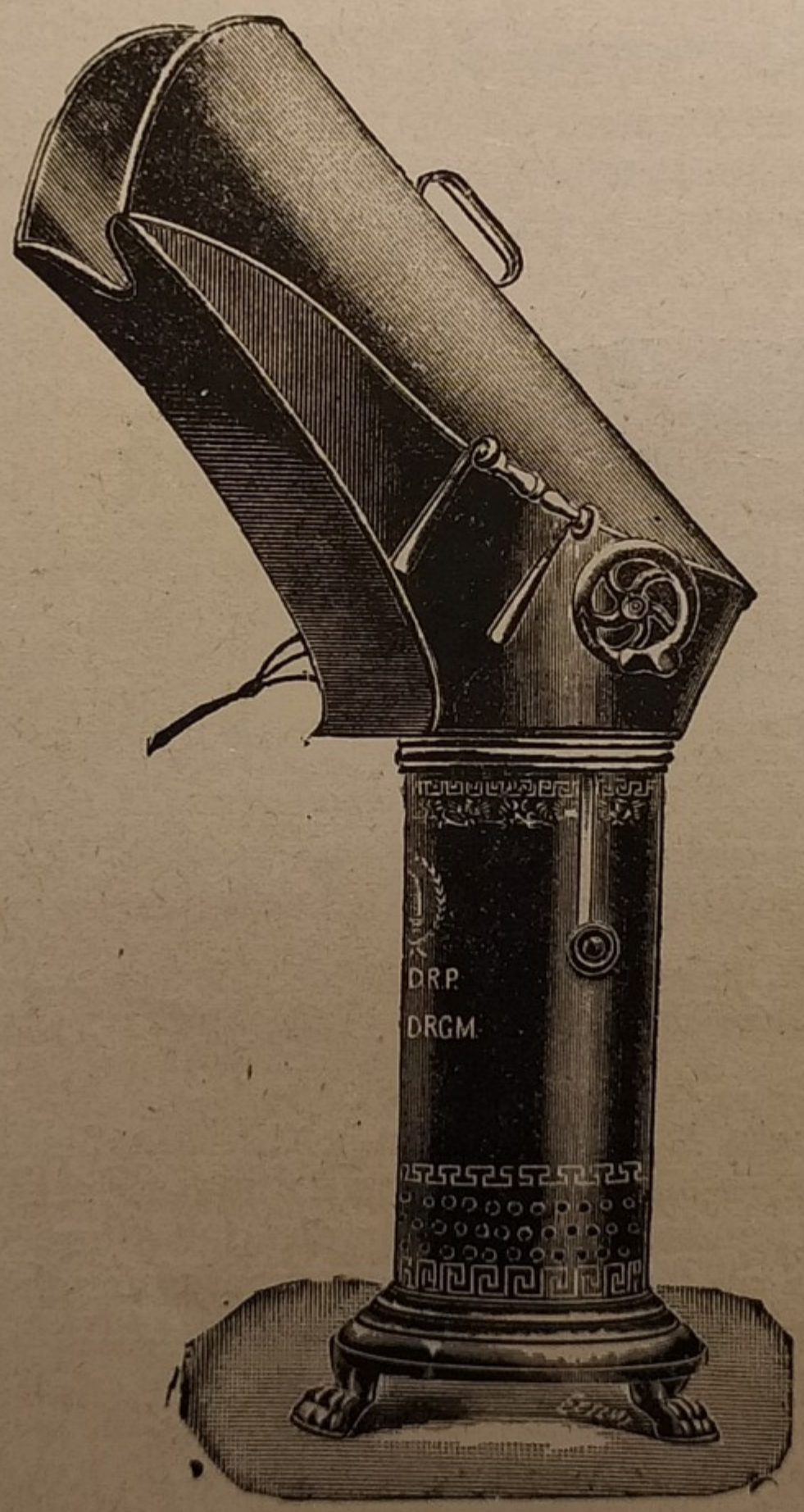


Fig. 167. — Essicatoio per capelli.

Nell'interno dell'apparecchio, superiormente, trovasi un ventilatore (che si comanda a mano con un volantino) destinato ad aspirare l'aria calda.

Altezza: 18 centimetri. — Consumo: da 6 a 7 ampère sotto 110 volta.

Fig. 168. — Sterilizzatore del latte **Soxhlet** smaltato o nichelato. Modello piccolo

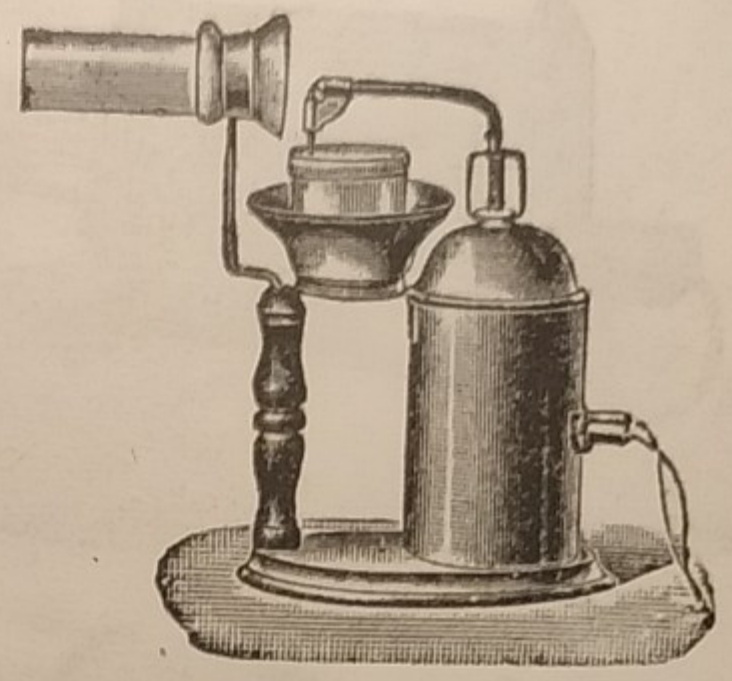


Fig. 171. — Inalatore in ottone nichelato
Consumo: 1 amp. sotto 110 volta.

Fig. 169. — Sterilizzatore **Soxhlet** del latte, nichelato o smaltato. Modello grande. Consumo: 8 amp. sotto 110 volta.

nucleo di questo è costituito da sottili lamelle tra di esse isolate onde non si riscaldi, mentre la massa massiccia del ferro da stirare, venendo attraversata da due flussi alternativi, diventa la sede di forti correnti parassite nonchè del fenomeno di isteresi che la portano ad alta temperatura.

*
* *

Nè si deve passare sotto silenzio l'applicazione che il riscal-

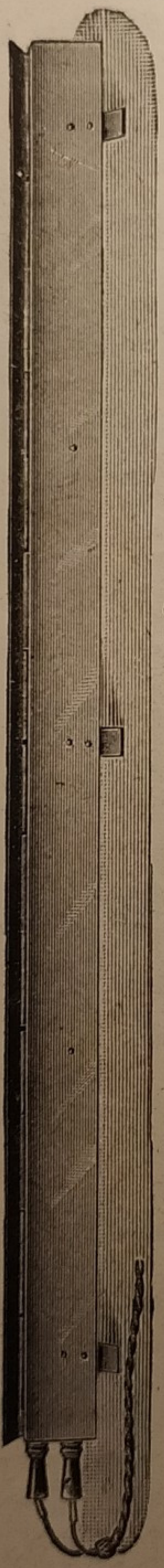


Fig. 170. — Riscaldatore per impedire che si formi la brina sulle vetrine dei negozi.
Lunghezza normale: 1 m. — Consumo: 2 amp. sotto 110 volta.
Si dispone orizzontalmente presso la parte inferiore dei vetri. Il tettuccio che vedesi superiormente proietta l'aria calda contro le vetrine.

damento elettrico ricevette nella terapeutica; e accenneremo agli inalatori (figura 171), agli sterilizzatori degli strumenti chirurgici (fig. 172), agli sterilizzatori dell'aria. In questi ultimi l'aria deve essere portata a temperatura non inferiore a 160° C. facendola preventivamente passare in filtri di ovatta perchè si spogli della polvere; nell'uscita essa attraverserà inoltre dei tessuti impregnati di sostanze antisettiche. Per facilitare la circolazione dell'aria attraverso ai filtri si ricorre anche all'uso di ventilatori.

Per la cura delle malattie reumatiche talvolta il calore deve essere trasmesso agli organi sofferenti del corpo umano col contatto, nel qual caso servono gli apparecchi di cui le figure 173 a 176 porgono due esempi. Questi riscaldatori nonchè le maglie formate di tessuto termofilo, possono essere mantenuti per quanto tempo si riterrà conveniente alla temperatura che nei singoli casi sarà più adatta. Altre volte invece il calore deve essere irradiato sul nostro corpo, ed in tal caso si può far uso del radiatore rappresentato dalla fig. 177, consistente in lampade assai robuste i cui globi hanno la capacità in comunicazione coll'atmosfera onde non possano esplodere. Occorrendo che le radiazioni assumano differenti colorazioni, si intercettano con dei vetri colorati. Ove sia opportuno di combinare l'azione del calore con quella della luce, si sostituiscono alcune delle speciali lampade termiche con delle ordinarie lampade per l'illuminazione.

Si sono pure introdotti nell'uso pratico, per malati e per feriti, dei materassi riscaldanti, nel cui imbottito è situato un tubo metallico assai flessibile contenente un conduttore, pure assai flessibile, di alta resistività, il quale é completa-

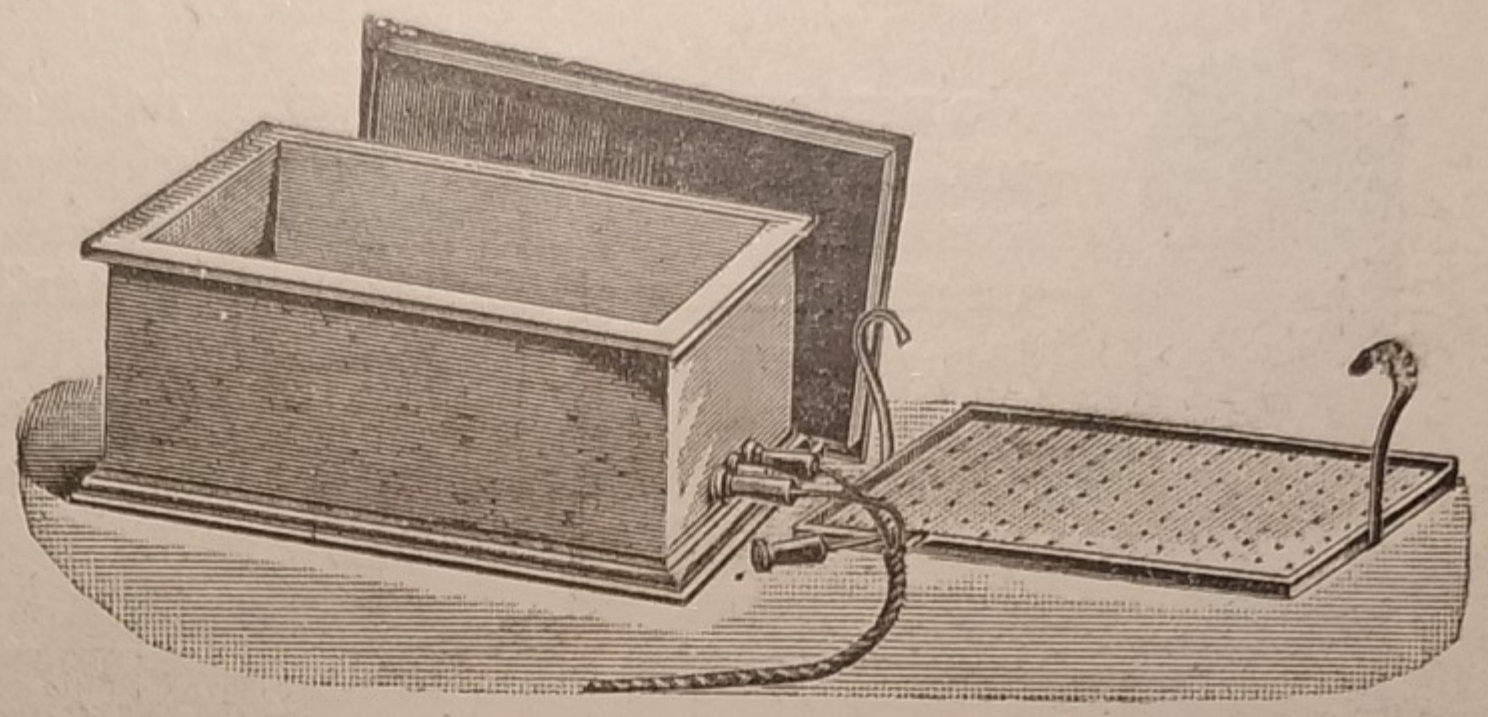
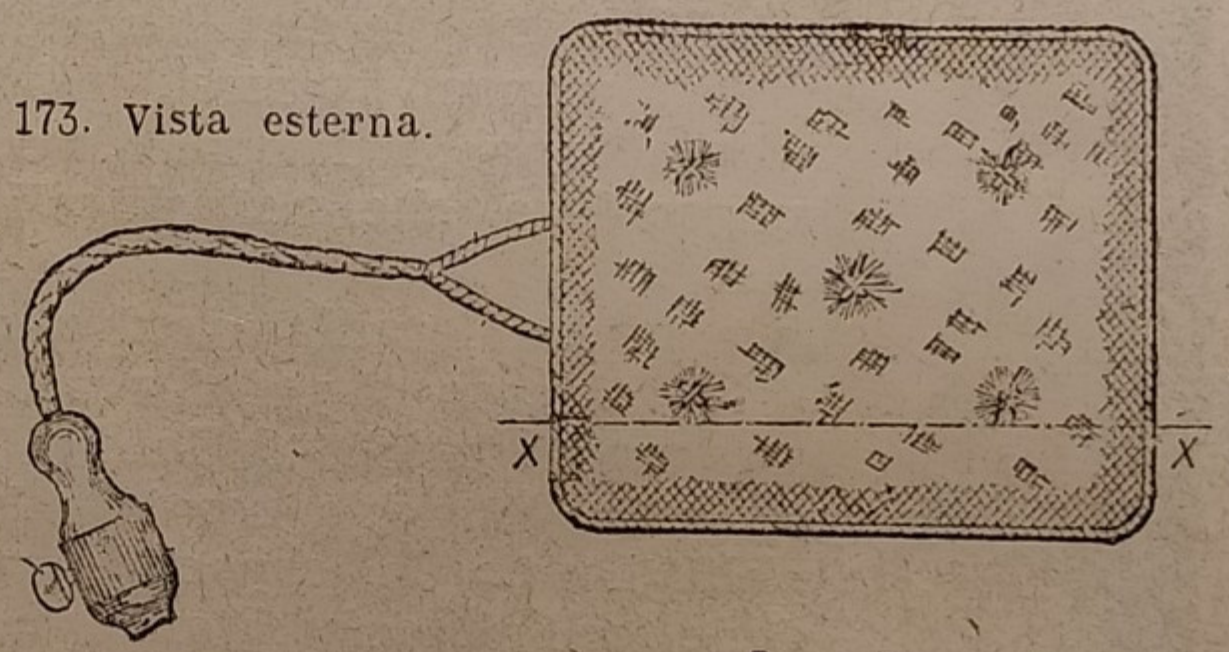


Figura 172. — Sterilizzatore per strumenti chirurgici, in ottone nichelato

Dimensioni:	20 × 10	cent.	Consumo:	4	amp. sotto 110 volta
	30 × 20	»		12	» » 110 »
	30 × 20	»		8	» » 110 »

Fig. 173. Vista esterna.



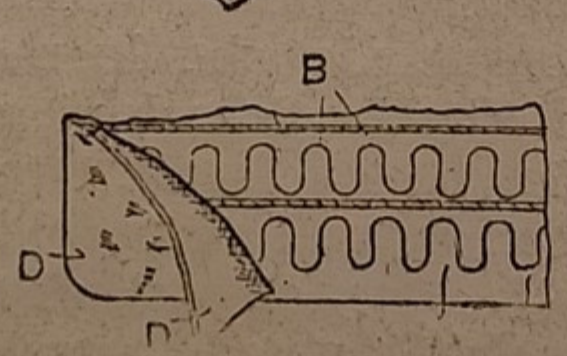


Fig. 174.
Sezione longitudinale.

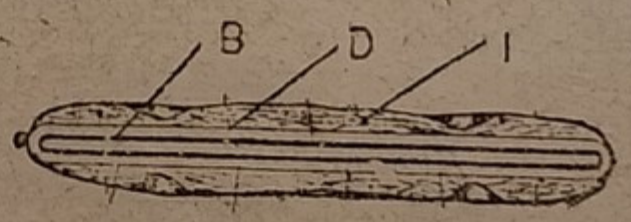


Fig. 175. Sezione XX.

Fig. 173 a 175. — Termoplasma con resistenze metalliche.

A — panno di asbesto.

B — spirali isolate in argentana disposte su A e avvolte da una soluzione di silicato di soda che costituisce un cemento che le tiene congiunte con A.

D — busta d'asbesto.

I — imbottito.

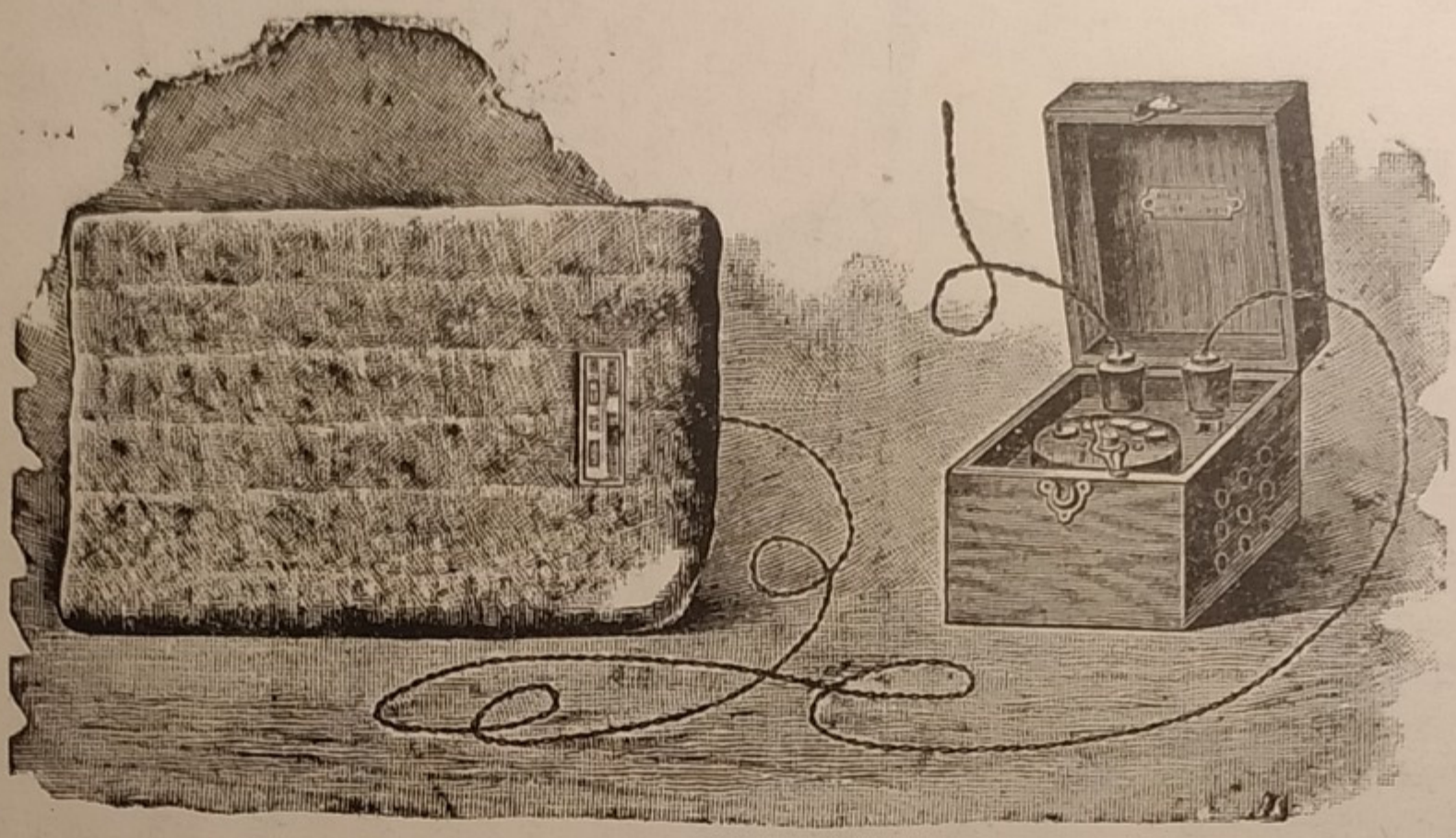


Fig. 176. — Termoplasmo metalloceramico con regolatore delle temperature avvolto in panno molletton ricoperto da tela.

Dimens.: cent. 25×35 — Consumo massimo: 0,15 amp. sotto 110 volta.

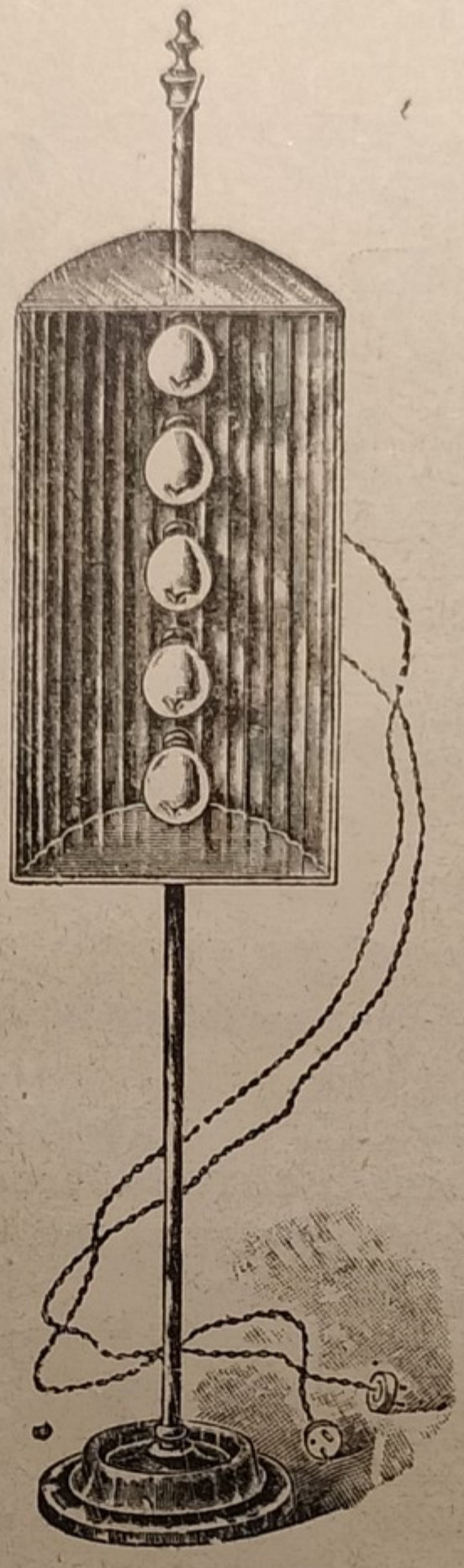
mente rivestito da tanti granelli di vetro. La disposizione del circuito è tale che il materasso si riscalda di più dal lato dei piedi. Il riscaldamento si può regolare a mezzo di una resistenza addizionale dalla testata del letto.

Al riscaldamento elettrico, provocato per lo più in un filo di platino, si ricorre pure per le operazioni di cauterizzazione.

* * *

Una interessante applicazione dell'azione termica delle correnti è offerta dagli *interruttori fusibili* o *valvole fusibili*, che hanno ricevuto largo impiego in tutti gli impianti elettrici. Esse constano essenzialmente di lamine o di fili di stagno ovvero di piombo, ovvero di una lega di 2 parti di stagno e 3 parti di piombo, che fondono a temperature relativamente basse. Inserite nei conduttori, allorchè la corrente, in causa di corti circuiti od altro, tende ad elevarsi oltre un certo limite, esse fondono e interrompono la circolazione della corrente allo scopo di impedire che assuma una intensità pregiudizievole. La loro sezione si determina in generale per modo che la fusio-

Fig. 177.



Radiatore terapeutico.

Riflett. cilindrico scanellato di rame, nichelato all'esterno, largo cent. 30 e alto cent. 60.

Le 5 lampade termiche sono inserite in due circuiti: uno comprende le lampade estreme e quella centrale, l'altro le due lamlampade intermedie.

Consumo complessivo: 10 ampère sotto 110 volta.

ne avvenga sotto la azione di una corrente eguale da una volta e mezza a due volte quella normale da cui debbono essere percorse: le loro lunghezze devono essere di almeno 30 millimetri. Se i conduttori in cui sono inserite sono di rame, potranno avere la stessa sezione di questi. Debbono essere così costrutte che per la fusione non possa formarsi un arco durevole. Per evitare le proiezioni di metallo fuso si racchiudono entro scatole o tubi generalmente di vetro o di porcellana. Le figure 178 e 179 rappresentano chiaramente un tipo di valvola fusibile semplice.

Nelle figure 180 a 183 vedesi una valvola doppia detta bipolare.

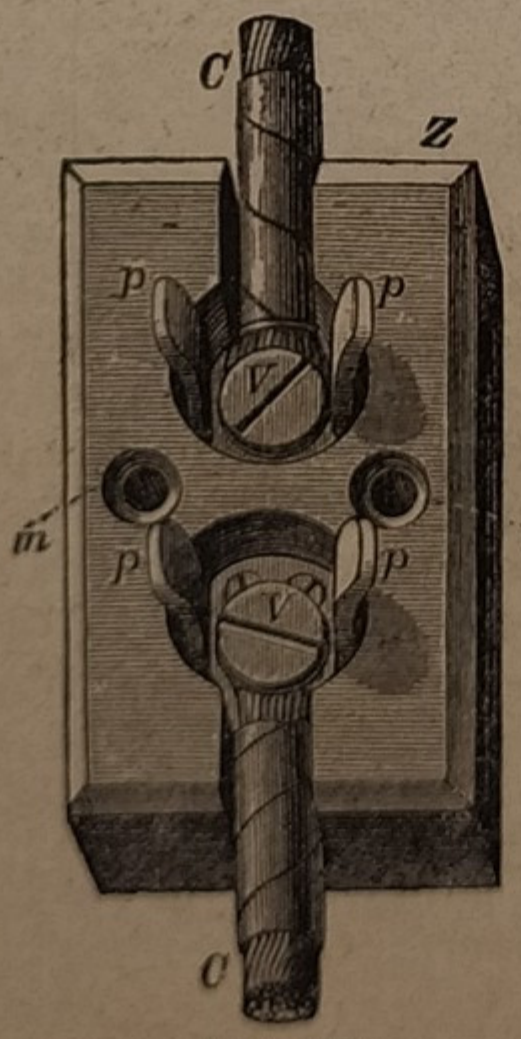


Fig. 178.

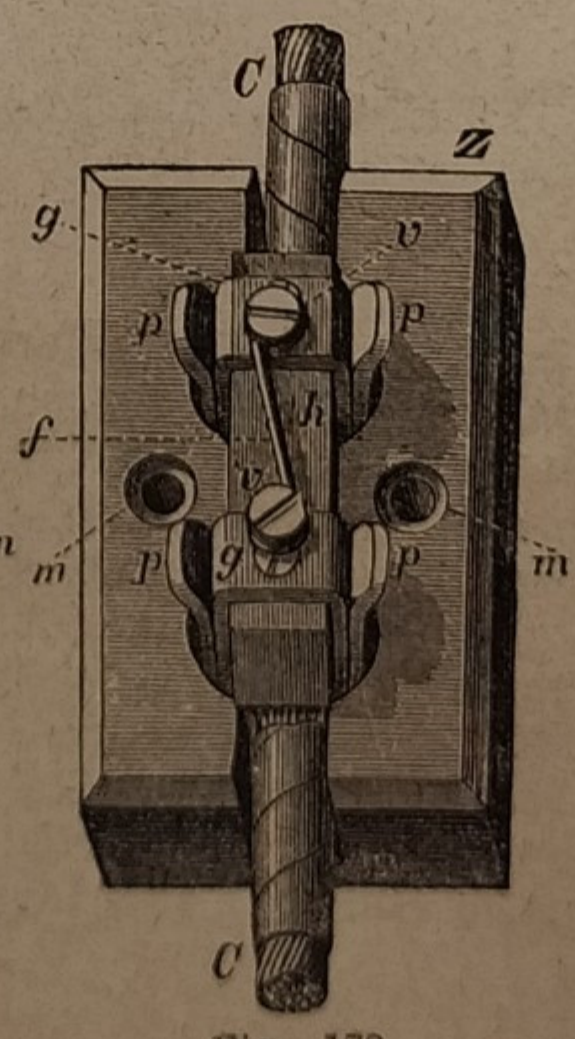


Fig. 179.

Fig. 178 e 179.

Valvola fusibile semplice.

C, C conduttori collegati dalla valvola,
P, P pinzette metalliche
g, g guaine metalliche,
V, V viti di giunzione del filo fusibile colle guaine,
h prisma isolante,
Z zoccolo di ardesi,
m fori per le viti di fissazione dello zoccolo.

Si costruiscono pure delle valvole triple o tripolari per le trasmissioni trifasi.

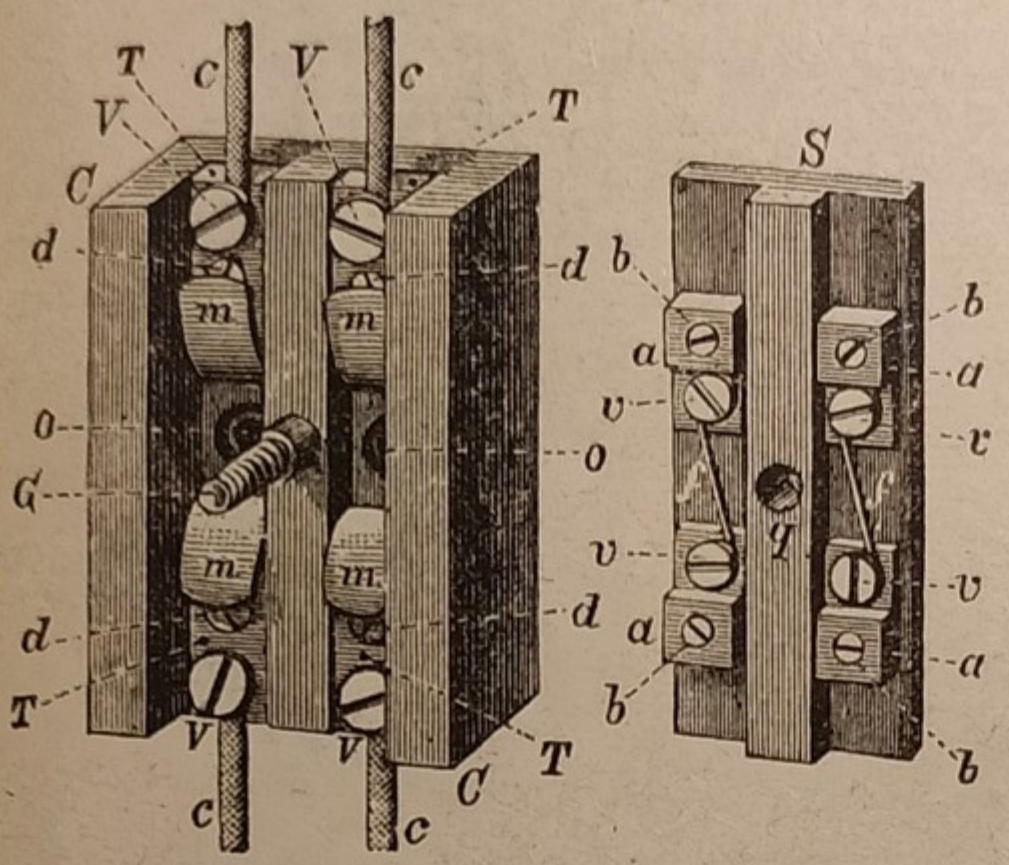


Fig. 180
Vista interna.

Fig. 181
Vista esterna.

Fig 180 e 181
Valvola fusibile bipolare (fig. 180 a 183).

a contatti — **c** conduttori — **f** fili fusibili — **m** molle di contatto — **C** custodia di legno — **S** coperchio di legno — **B** bottone di chiusura del coperchio — **V** viti di giunzione dei conduttori — **v** viti di giunzione dei fili fusibili — **G** gambo pel collegamento del coperchio — **T** tasselli metallici — **b** viti di giunzione dei contatti col coperchio — **d** viti di giunzione dei tasselli **T** alla custodia — **o** fori per le viti di fissazione della custodia — **q** foro pel passaggio del gambo **G**.

Nel seguente specchietto sono indicate le intensità delle correnti corrispondenti alla fusione per valvole di rame e di piombo-stagno di differenti diametri e lunghezze:

Ampère di fusione.

Diametri m/m	Fili di rame — Lunghezza m/m				Fili di piombo-stagno (60 P + 40 S) — Lunghezza m/m			
	30	50	100	150	30	50	100	150
	amp.	amp.	amp.	amp.	amp.	amp.	amp.	amp.
0,9	68	65	62	59	8,8	8,1	7,7	7
1	80	76,5	73	70	10,3	9,5	9	8,25
2	225	215	205	197	29	26,8	25,4	23,26
3	415	397	378	363	53,5	49.3	46,7	43
4	640	612	584	560	82,4	76	74	66
5	944	902	861	826	115	112	106	91,5
6	1176	1126	1073	1029	152	139,6	132,3	120
7	1480	1415	1350	1295	190,5	175,7	166,5	152,6

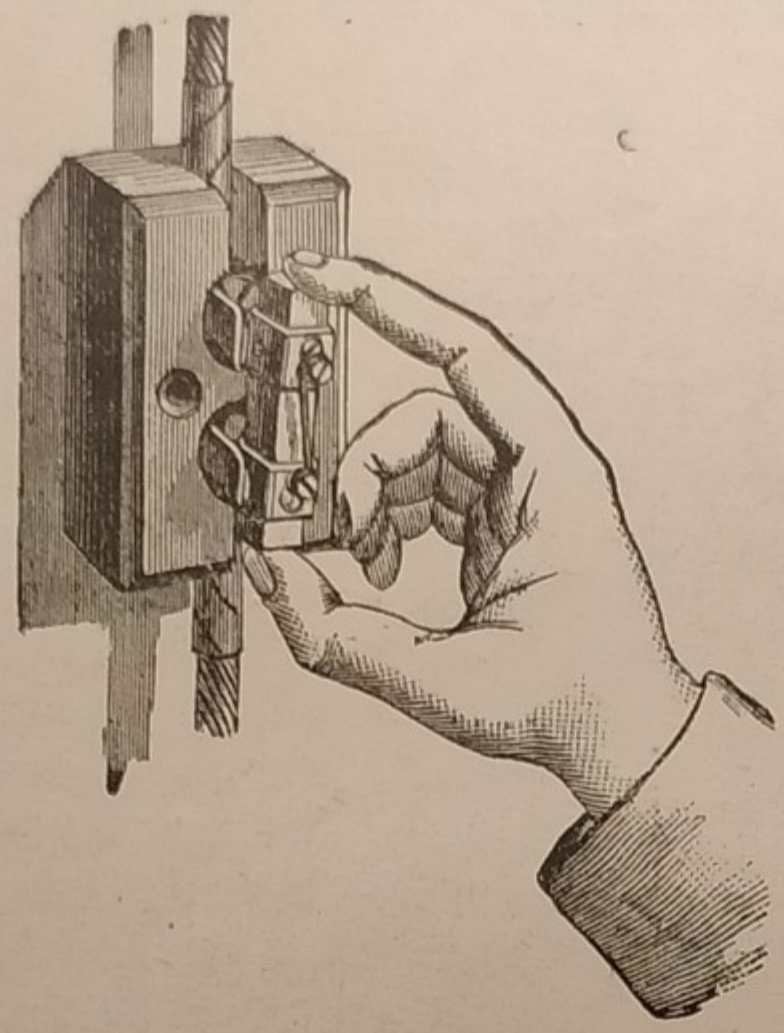


Fig. 182. — Applicazione della valvola

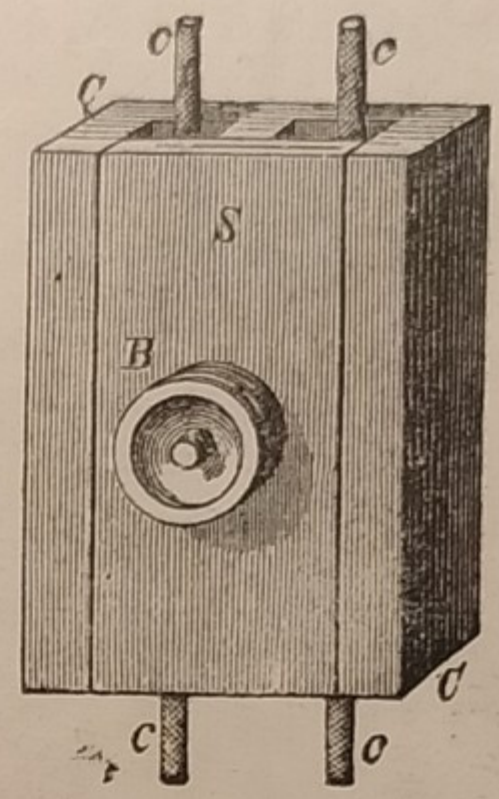


Fig. 183.
Valvola chiusa.

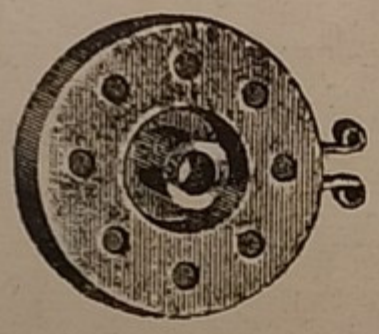


Fig. 184. — Elemento del reostato di avviamento
Diametro: 170 mm — Spessore: 80 mm

Il reostato è costituito da più elementi come il presente infilati sopra un alberello orizzontale o verticale.

* * *

Anche i *reostati* il cui uso è tanto frequente negli impianti di generazione e di utilizzazione dell'energia elettrica sono fondati sull'azione termica della corrente elettrica. Si distinguono in liquidi e solidi. I primi sono costituiti da recipienti contenenti dell'acqua, nei quali si immergono più o meno degli elettrodi metallici. I secondi constano di conduttori di grande resistenza, nudi nell'aria, ovvero isolati con uno dei parecchi modi accennati. Sì gli uni che gli altri debbono dissipare sotto forma di calore l'energia da essi assorbita dal circuito in cui si inseriscono allo scopo di regolare l'intensità della corrente o il dislivello di potenziale. I reostati applicati alle vetture elettriche sono anche così disposti che il calore in essi svolto nella stagione invernale viene utilizzato pel riscaldamento delle vetture stesse (*). Il calcolo dei reostati è affine a quello da noi esposto a riguardo dei caloriferi elettrici. La fig. 184 porge l'esempio di

(*) V. su questo soggetto P. Verole: « Notes sur le chauffage électrique des voitures » (Bull. du Congrès des chemins de fer. Bruxelles).

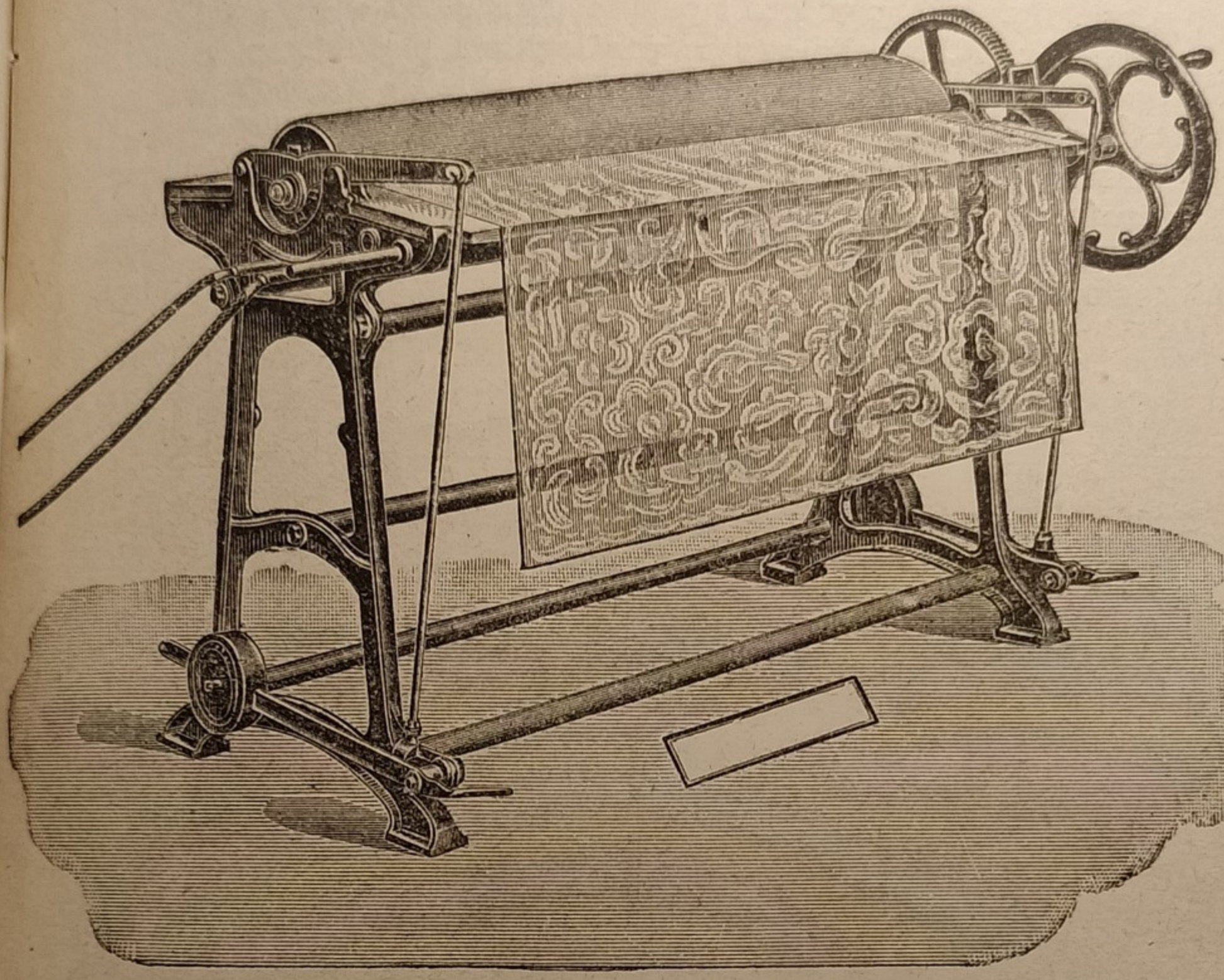


Fig. 185. — Macchina per soppressare la biancheria.

Il tessuto da soppressare si interpone tra un truogolo cilindrico riscaldato elettricamente e un cilindro rivestito di flanella o di schirting. Il cilindro si fa girare o a mano o mercè un motorino elettrico. La pressione del cilindro si può regolare con contrappesi. La potenza occorrente pel comando del cilindro è al massimo di 75 watt.

Diametro del cilindro: da 175 mm. a 250 mm.
Lunghezza » 600 » 2500 «
Peso della macchina: da 140 a 750 Kg.

un reostato solido, poco ingombrante, in uso specialmente nelle vetture automotrici, affini agli apparecchi di riscaldamento descritti al capitolo a pag. 81.

* * *

Infine aggiungeremo che il riscaldamento elettrico ne' differenti suoi modi di produzione ricevette parecchie applicazioni in svariate arti e industrie. E così esso è utilizzato nelle macchine per soppressare (figure 185 e 186), per incollare, per co-

piare (fig. 187), per fare i pettini (figure 188 a 190), nelle distillerie (fig. 191), nelle presse per legatori (fig. 192), negli stampi per formare e allisciare i cappelli, i colletti, i corsetti e i guanti (fig. 194 e 195), nei ferri per saldare (figure 196 e 197), nei fornelli per riscaldare questi ferri (fig. 198); nelle muffole per la ricottura di piccoli oggetti, nelle punzonatrici per imprimere a fuoco sui turaccioli, nelle incubatrici, nelle stufe per fermentazioni e colture, ecc.

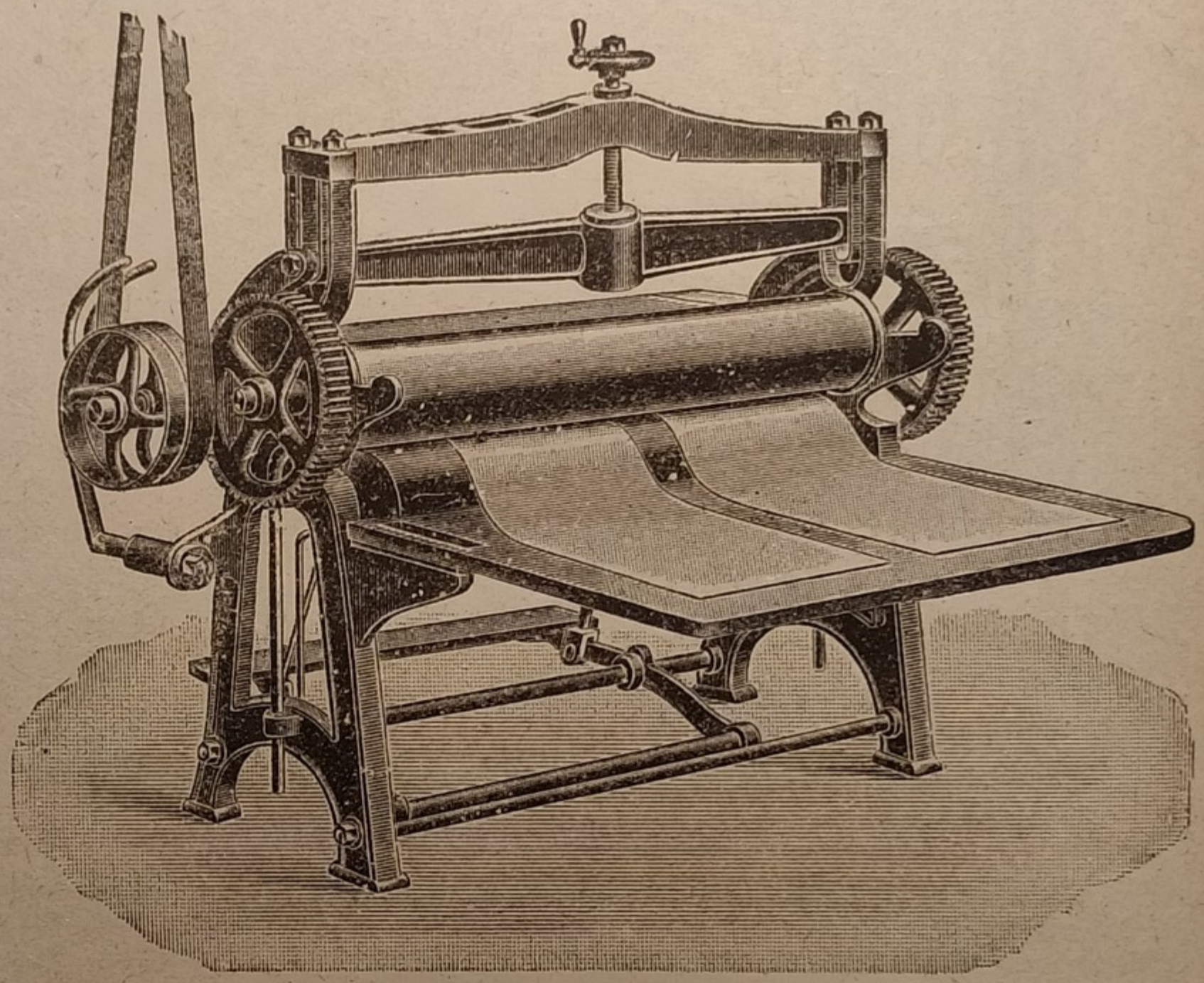


Fig. 186. — Laminatoio allisciatore.

Lung.: 1 m. — Diam.: 170 mm. — Durata dell'avviamento: mezz'ora circa — Temp.: 300° C. — Consumo massimo: 18 ettowatt.

I laminatoi o cilindratoi per soppressare la tela e le stoffe nonchè la biancheria e i vestiti constano generalmente di una matrice fissa cilindrica e di un rullo riscaldata la prima mediante resistenze elettriche interne. Tra l'una e l'altro si interpongono gli oggetti che vogliansi stirare, assoggettandoli a una pressione che si può regolare con leve e contrappesi. Facendo in seguito rotare il rullo o a mano o a mezzo di una manovella o mediante un motorino elettrico, i detti oggetti passeranno tra la matrice e il rullo riscaldandosi e soppressandosi. Alcuni di questi cilindratoi sono riscaldati mediante tubi di tessuto termofilo che vi assumono la temperatura di circa 120° centigradi assorbendo 6 ettowatt per metro quadrato.

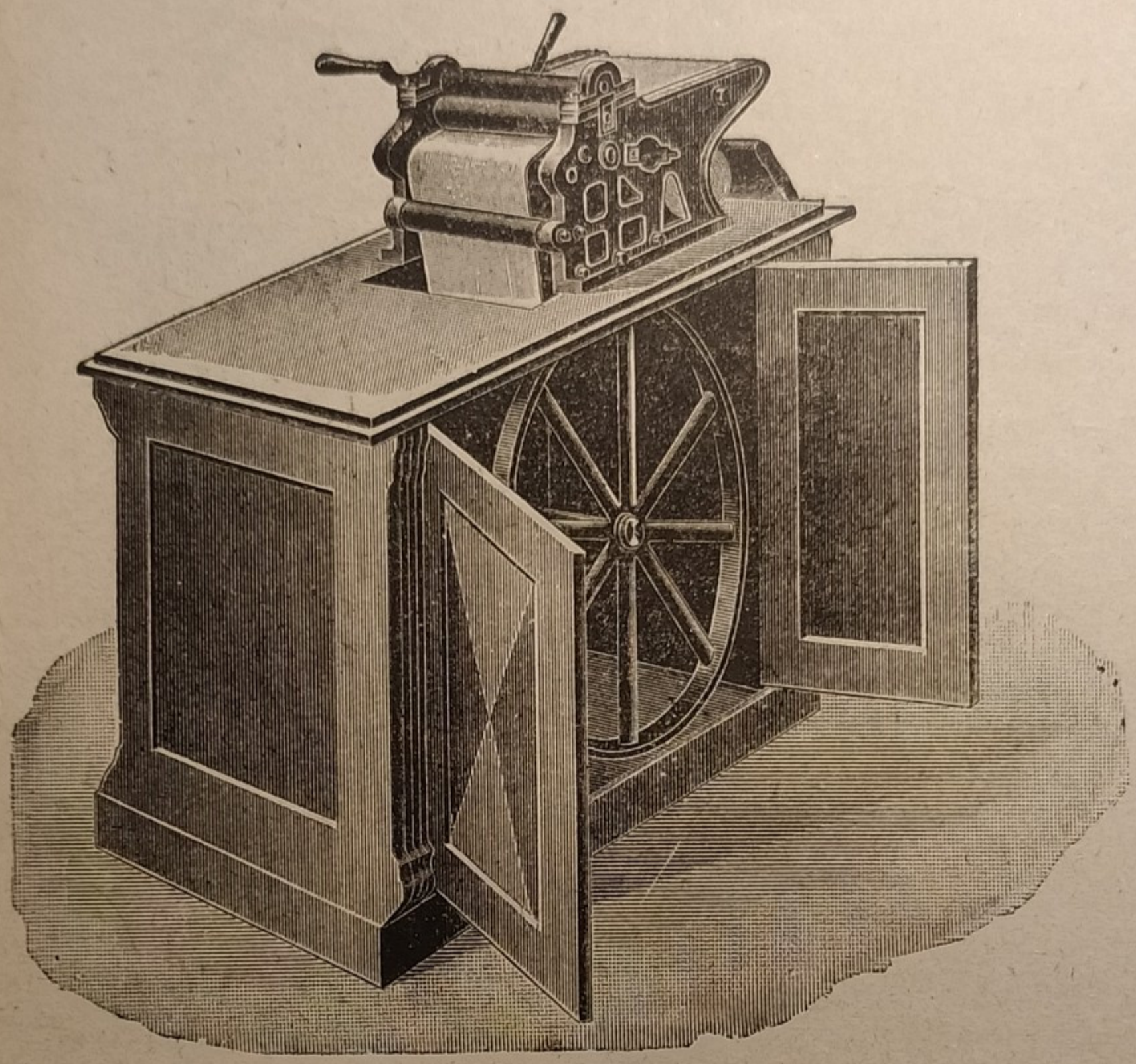


Fig. 187. — Macchina per copiare. — Questa macchina è munita di due cilindri calorifici disposti in guisa che la carta, nell'uscire dalla macchina, passi su uno di essi per essiccarsi innanzi di avvolgersi.

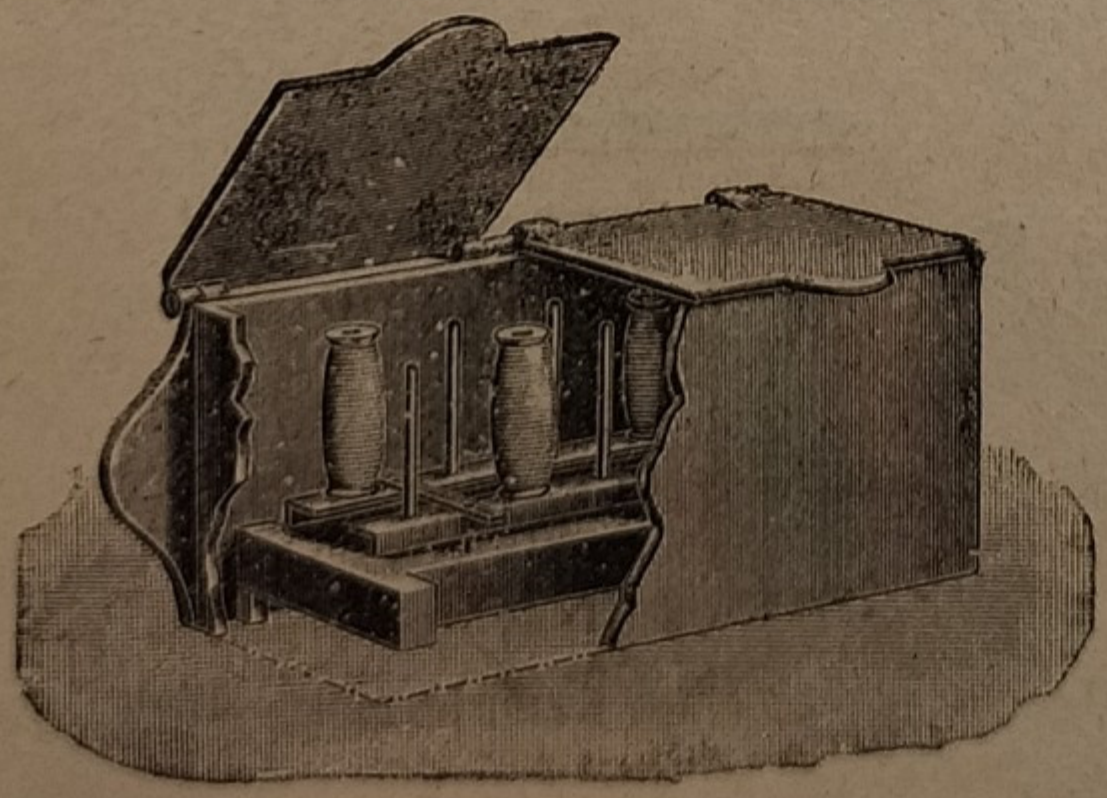


Fig. 188. — Apparecchio per riscaldare preventivamente i rocchetti incatramati.

Dimensioni :
300 × 140 × 160 mm.

Peso : 19 Kg. circa.

Regolazione tripla

Consumo :
da 1 a 2,5 ettowatt.

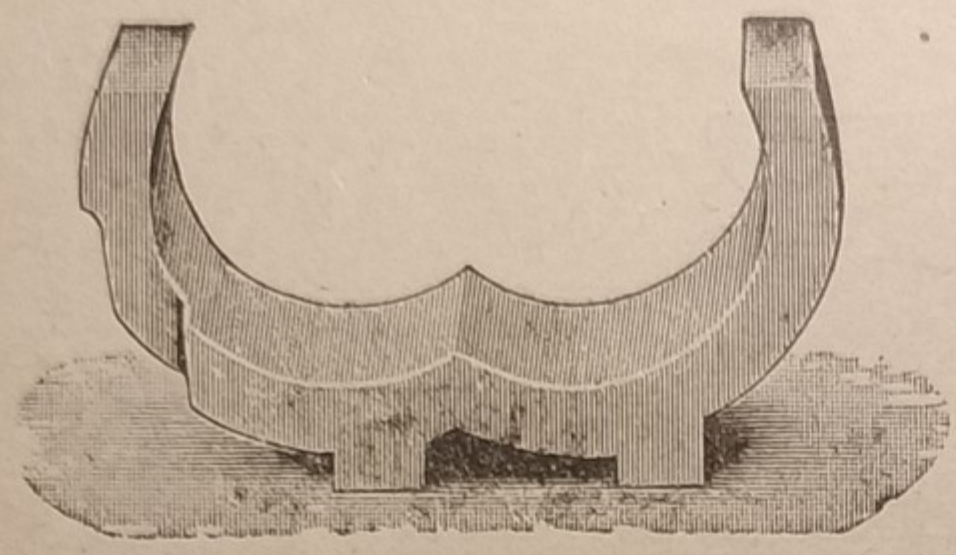


Fig. 189. — Corpo calorifico di macchine per fare pettini.

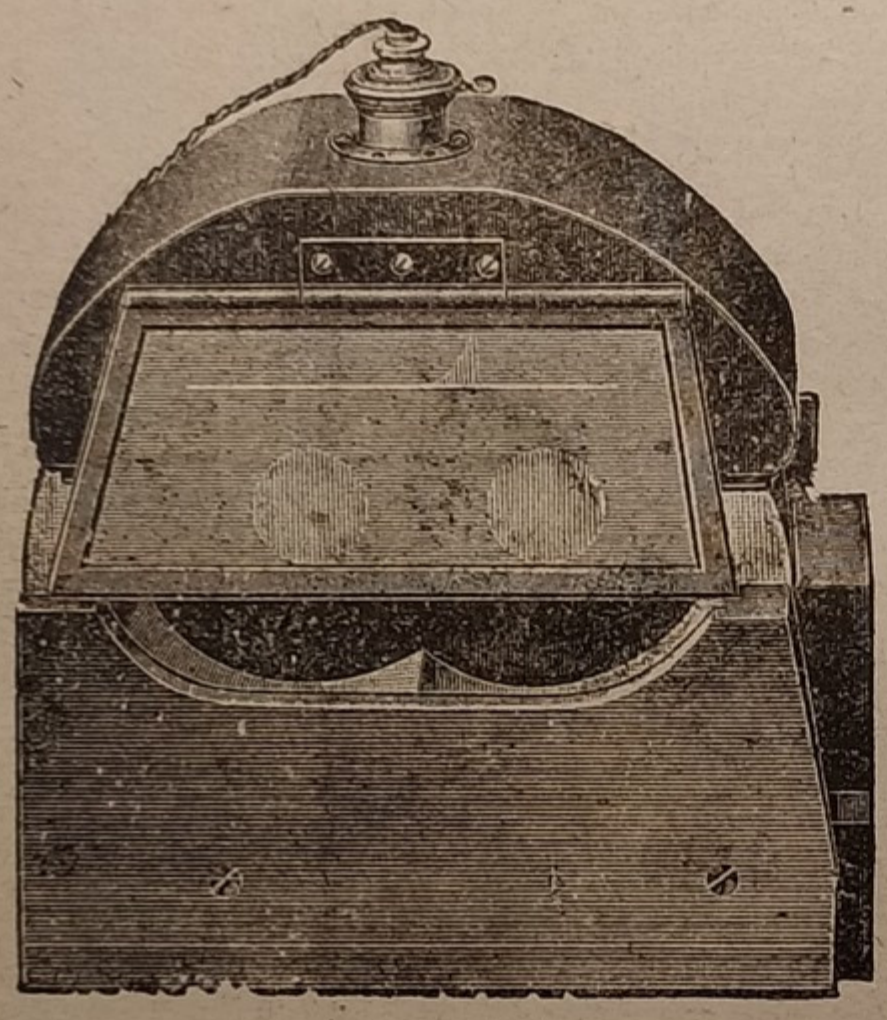


Fig. 190. — Corpo calorifico di macchine per fare pettini, con custodia isolante.

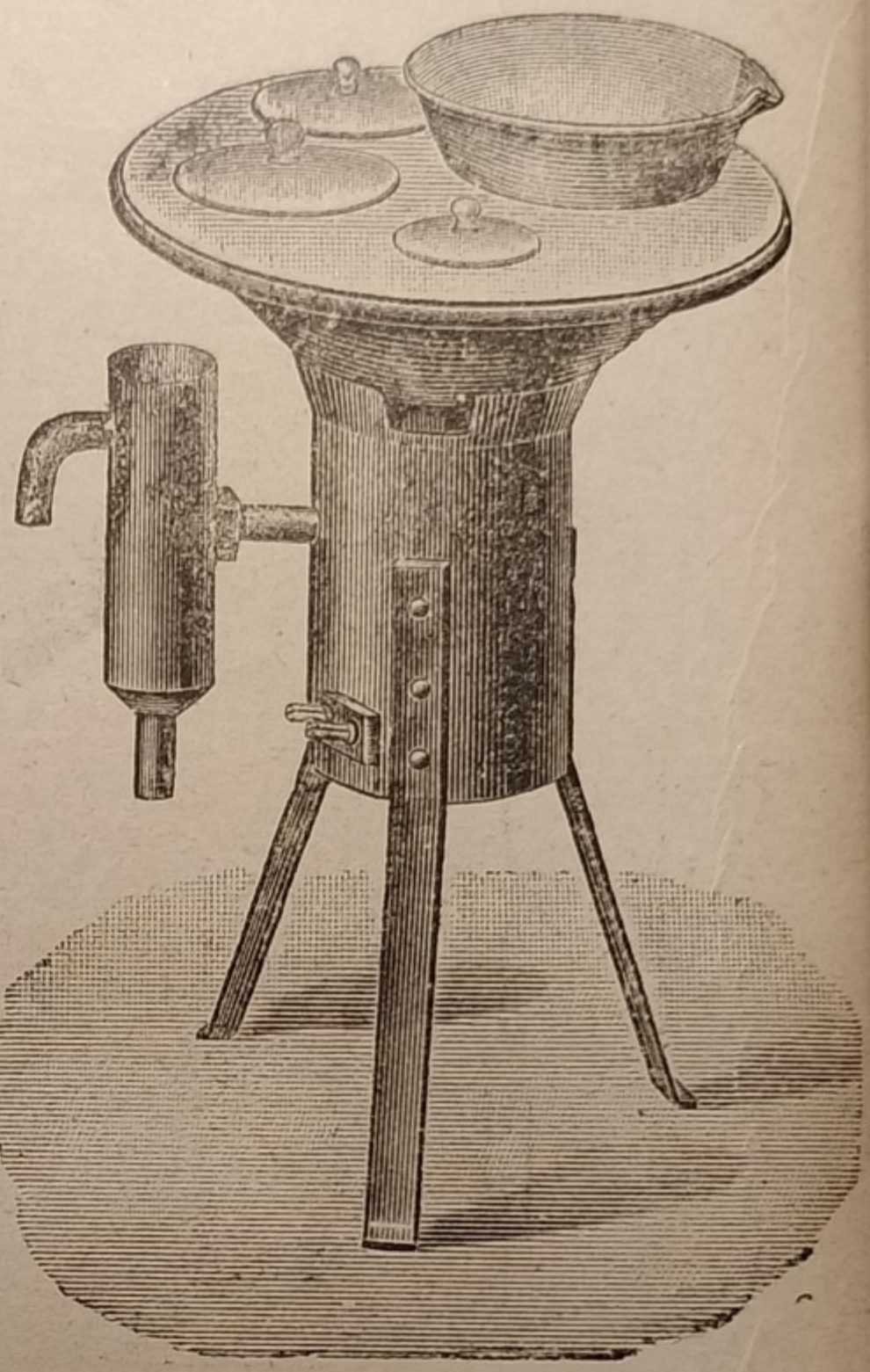


Fig. 191. — Bagnomaria.

Altezza: 320 mm. — Diametro: 200 mm.
Peso: Kg. 1,6 circa — Regolazione tripla
Consumo: da 1 mezzo a 2 ettowatt.

Questo apparecchio serve nelle farmacie e nei laboratori a condensare i liquidi coll'evaporazione a bagnomaria.

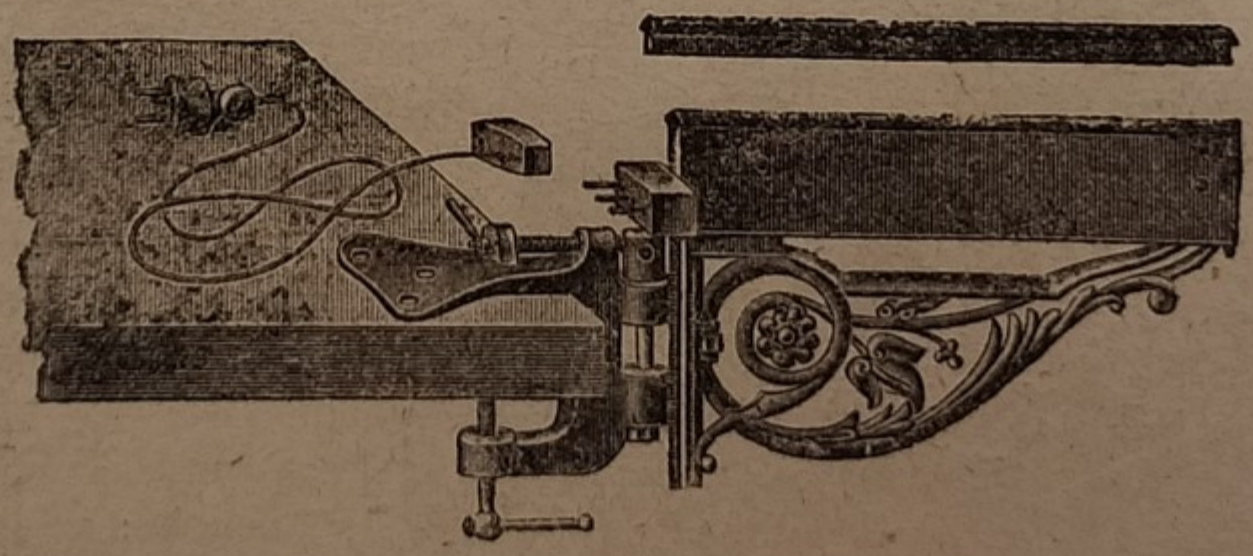


Fig. 192. — Apparecchio per imprimere la scritturazione sul dorso dei libri.
Lunghezza: 480 mm. — Peso: 12 Kg. circa. — Regolazione tripla.
Consumo: da 1 a 3 ettowatt.

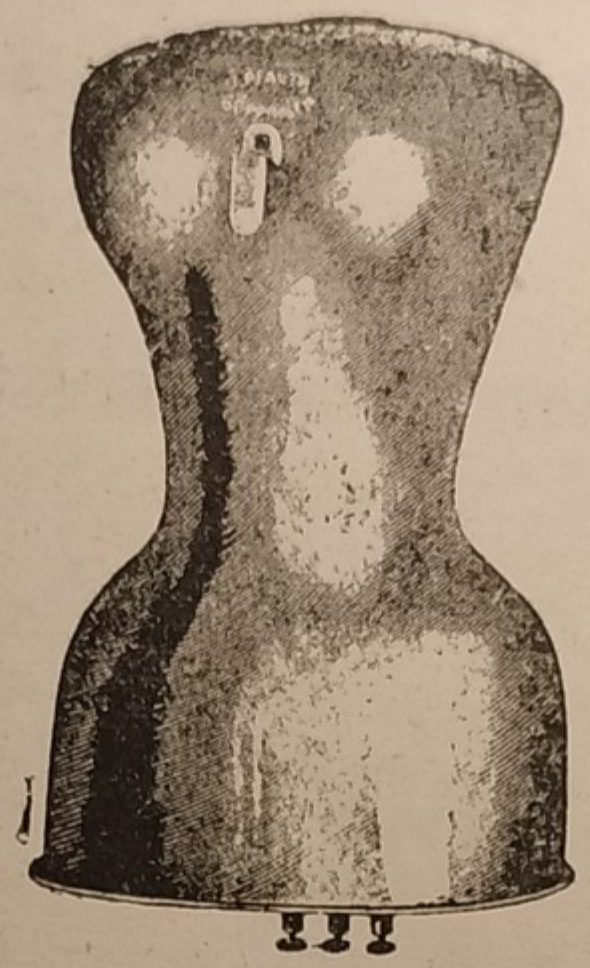


Fig. 194. — Stampo riscaldante per corsetti.

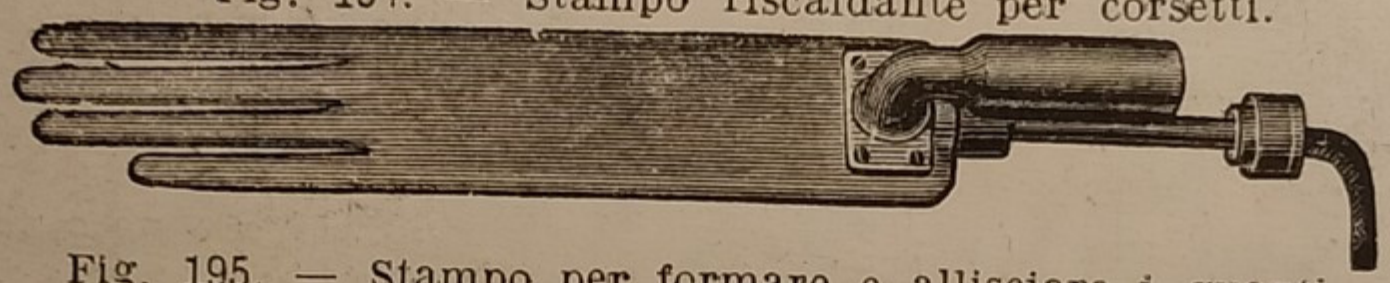


Fig. 195. — Stampo per formare e allisciare i guanti.
Peso: Kg. 2,2 circa. — Consumo: 2 ettowatt.

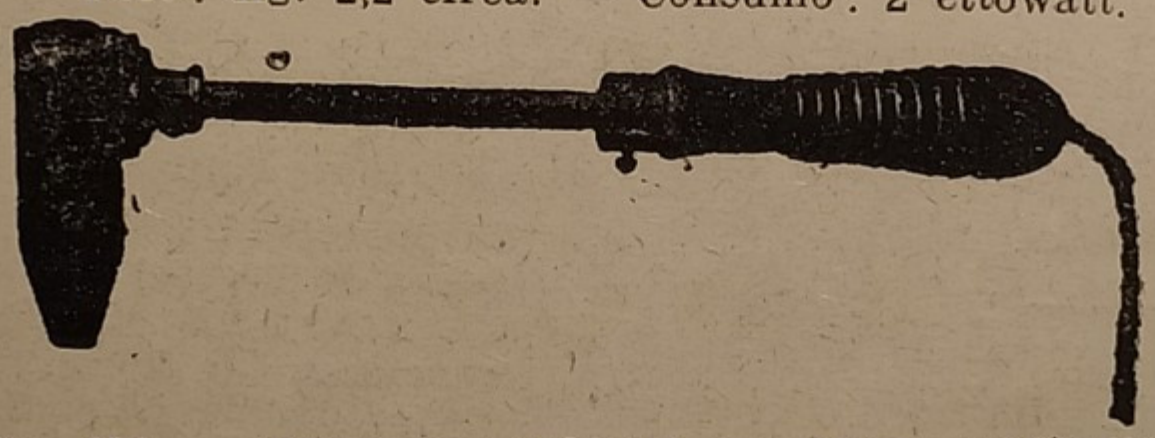


Fig. 196. — Ferro per saldare con penna sostituibile.
Consumo: 1,4 ampère circa sotto 110 volta.

La penna del ferro riceve il calore o da una resistenza metalloceramica o da una serie di resistenze metalliche isolate con mica e attorniate da amianto o da un arco voltaico

Fig. 197. — Corpo calorifico del ferro per scaldare.
Lunghezza: 70 millimetri.

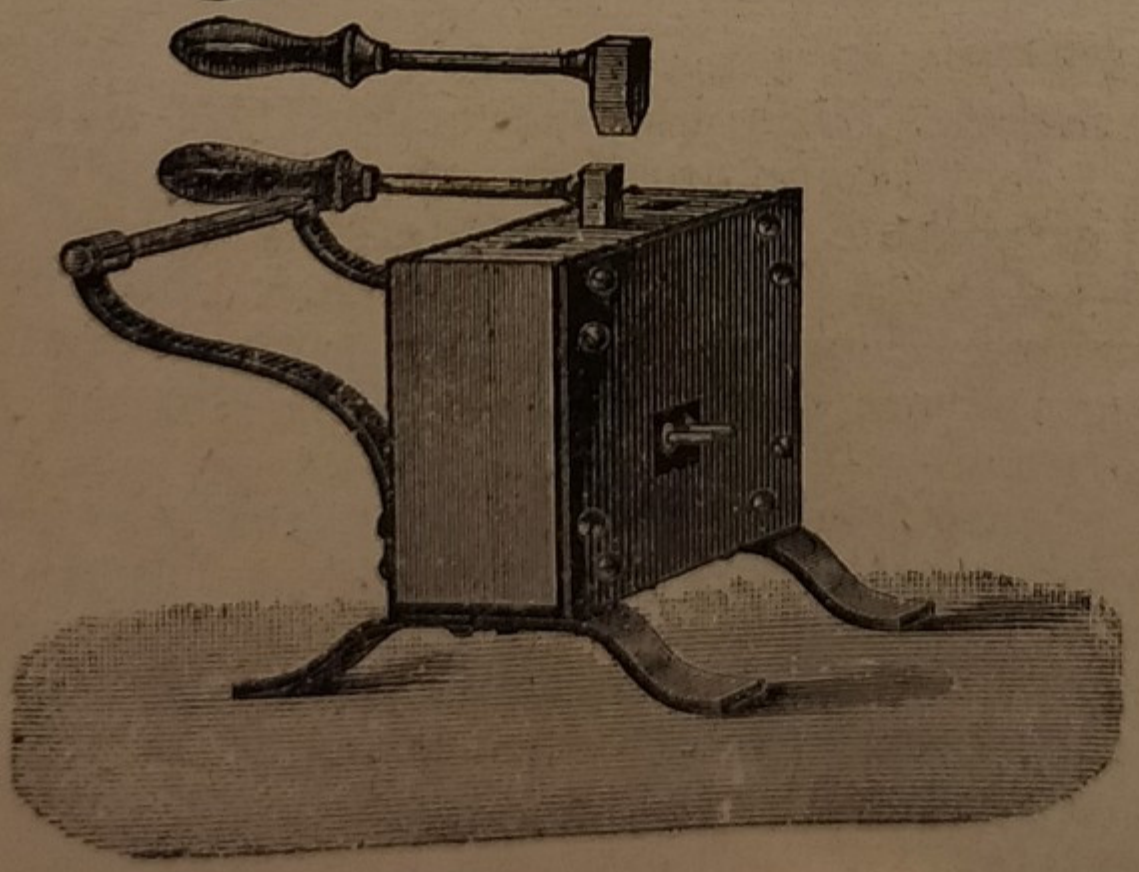


Fig. 198. — Apparecchio elettrotermico per scaldasaldare degli ore i ferri per refici, orologiai, dentisti, ecc.

Dimensioni:

120 × 45 × 116 mm.

Peso: 1 kg. circa.

Durata dell'avviamento: 10 minuti.

Consumo massimo: 2 ettowatt.

In modo affine vengono portati alla temperatura adatta gli stampi per allisciare corsetti, guanti, ecc.

Autovaporizzatore elettrico.

Un'importante e geniale applicazione ha testé ricevuto il riscaldamento elettrico in un apparecchio detto *autovaporizzatore* destinato alla concentrazione delle soluzioni acquee.

Come è ben noto, in generale per concentrarle queste soluzioni si assoggettano al riscaldamento sottraendone l'acqua sotto forma di vapore che si diffonde nell'atmosfera. Così facendo si ha un grande spreco di calore giacchè, come é risaputo, l'acqua liquida per cambiare di stato e trasformarsi in vapore assorbe alla pressione ordinaria 537 calorie per ogni chilogrammo del proprio peso che andrebbero disperse.

Orbene si è trovato il modo di ricuperare queste calorie di vaporizzazione, utilizzandole, con procedimento che consente lo

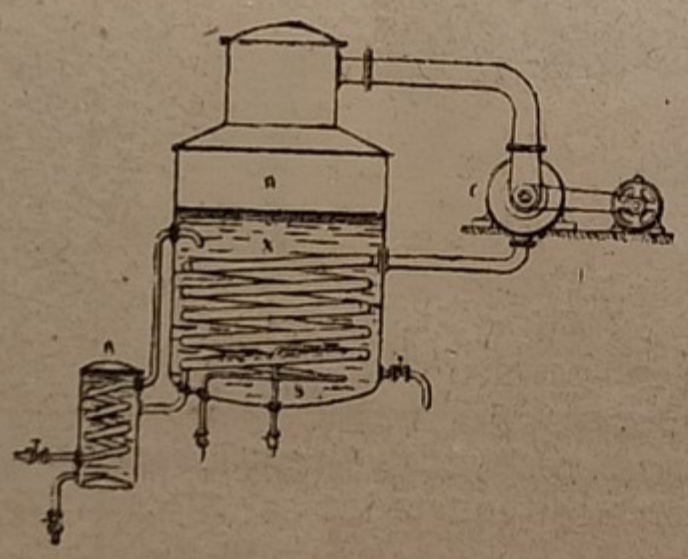


Fig. 199. — Autovaporizzatore.

R recipiente contenente la soluzione da concentrare — S serpentino in cui circola del vapore destinato ad iniziare il riscaldamento della soluzione — X serpentino in cui viene compresso il vapore — K recipiente in cui viene preventivamente riscaldata la soluzione — C. compressore centrifugo azionato da un motore elettrico.

impiego di energia elettrica per riscaldare la soluzione da concentrare.

La fig. 199 dà un'idea di tale procedimento che viene denominato di *autovaporizzazione*. Il liquido da concentrarsi si introduce nel recipiente R e vi viene inizialmente portato all'ebollizione a mezzo del serpentino S, postovi inferiormente, in cui si fa circolare del vapore. Il vapore che si estrica dalla parte superiore della soluzione è aspirato dal compressore centrifugo C e da questo é successivamente compresso e inviato nel serpentino X immerso nella soluzione stessa: quivi esso si condensa e restituisce a questa le calorie di vaporizzazione provocandovi ulteriori svolgimenti di vapore e così via via. Il liquido allorchè ha raggiunto il prefisso grado di concentrazione viene immesso nel recipiente K perchè vi ceda il proprio calore ad altra soluzione da concentrare che circolerà entro un serpentino

situato in questo recipiente prima di essere introdotta nel recipiente R.

Il compressore C é mosso da un motore elettrico di guisa che è in ultima analisi dell'energia elettrica che provoca la compressione del vapore e la restituzione delle calorie di vaporizzazione di questo alla soluzione da concentrare. Non tutta l'energia elettrica consumata è trasformata in calore nella soluzione chè una parte di essa viene dissipata in lavoro meccanico; pur tuttavia l'effetto utile risulta assai elevato. Mediamente nei trattamenti della soluzione sodica per concentrarla dal 5 per cento al 17 % in peso, si può ottenere la vaporizzazione da 16 a 17 chilogrammi d'acqua per ogni chilowattora. Un chilowattora equivalendo a 863 calorie, ne risulta che con queste si ricuperano mediamentè 8860 calorie di vaporizzazione, conseguendo così l'economia di circa 8000 calorie.

La temperatura del vapore compresso vi è di 160° C. circa. L'acqua proveniente dal vapore condensato all'uscita dell'apparecchio ha la temperatura di circa 70° C. ed è assolutamente pura per essere utilizzata come acqua distillata.

Proporzionando convenientemente gli apparecchi si riesce a vaporizzare 75 kg. all'ora per metro quadrato di superficie riscaldata.

Giova evidentemente che il compressore centrifugo C sia per quanto possibile vicino al recipiente della soluzione per evitare i disperdimenti di calore attraverso alla condotta che collega il compressore con questo recipiente.

Il compressore centrifugo è da preferirsi ad altri tipi di compressori perchè permette di trattare dei grandi volumi di vapore col minimo ingombro.

IV.

Caldaie elettriche.

Negli impianti di riscaldamento a termosifone od a vapore esistenti, quando faccia difetto o sia eccessivamente caro il combustibile, all'impiego di questo si potrà sostituire quello della elettricità mercè l'uso di caldaie elettriche.

La stufa ad acqua con soda di cui si è fatto cenno a pag. 102 potrebbe anche essere considerata una caldaia elettrica. Tuttavia il liquido in essa contenuto non è destinato a rinnovarsi; mentre nelle vere caldaie, di cui intendiamo parlare, devesi riscaldare dell'acqua che è destinata a circolare o allo stato liquido o a quello vaporoso negli elementi riscaldatori, distribuiti negli appartamenti per cedervi il calore all'aria ambiente. Adunque, come vedesi, il primo apparecchio produce direttamente il riscaldamento; mentre le caldaie propriamente dette lo determinano indirettamente.

E' ovvio che la detta stufa ad acqua calda potrà divenire una caldaia nel significato attribuito a questo vocabolo quando sia congiunta da un lato colla tubazione dell'acqua fredda e dall'altro lato colla condotta di riscaldamento.

Trasformazione delle caldaie comuni in elettriche.

Notiamo subito che le comuni caldaie degli impianti di riscaldamento a termosifone od a vapore possono essere trasformate in caldaie elettriche applicandovi semplicemente nel forno un reostato metallico in sostituzione della graticola. Un tale reostato, che si inserirà nel circuito di distribuzione dell'energia elettrica allo stesso modo delle stufe (fig. da 1 a 5, pag. 20) e sarà analogamente protetto da interruttori automatici o da valvole fusibili, consta generalmente di più serie o pacchetti di elementi di ghisa al manganese e al fosforo, zincati all'esterno, aventi la forma di piastre piane ad andamento sinuoso e precisamente aventi la forma di aste rettilinee parallele raccordate da archi circolari, come indica la fig. 200. La accennata forma degli elementi ed il modo secondo cui sono elettricamente con-

giunti gli uni con gli altri fanno sì che la corrente circolante in ogni segmento di ciascun elemento è di senso contrario a quella circolante nel segmento contiguo dello stesso elemento. In tal guisa se il reostato è alimentato da corrente alternativa, esso non avrà per effetto di abbassare sensibilmente il fattore di potenza, risultandovi pressochè nullo l'effetto induttivo. (Ci richiamiamo in proposito a quanto dicemmo a pag. 104).

Gli elementi costituenti il reostato si possono disporre in quantità, in serie o per gruppi per fare variare a seconda del bisogno l'efficienza delle caldaie. Un tale reostato può funzionare senza che si deteriori alla temperatura massima di 600° C.

Per ridurre le perdite di calore bisognerà ostruire le aperture di accesso dell'aria esterna nelle caldaie; e se il tipo di queste lo consente, per aumentarne l'efficienza, bisognerà inoltre disporre le cose in guisa che si stabilisca una attiva circolazione d'aria dal reostato alle pareti da riscaldare e da queste a quello.

Queste caldaie riscaldate a mezzo di reostati disposti nel loro

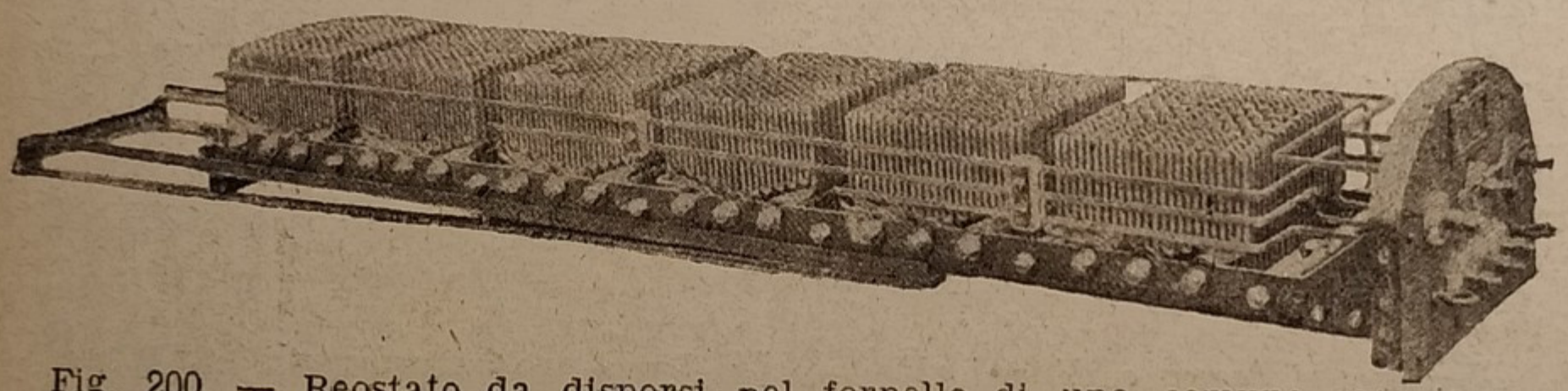


Fig. 200. — Reostato da disporsi nel fornello di una comune caldaia per trasformarla in caldaia elettrotermica

forno si avviano lentamente; tuttavia ciò non costituisce un inconveniente grave per gli impianti di riscaldamento centrali ad acqua od a vapore, il cui funzionamento si inizia al principio e si mantiene generalmente ininterrotto sino alla fine della stagione invernale.

Il loro rendimento, il rapporto cioè dell'energia termica utilizzabili all'energia elettrica che viene somministrata al reostato situato nel loro forno, espresse ben si intende le due energie nelle stesse unità, non supera che eccezionalmente il 70 per cento.

Conoscendosi la pressione interna delle caldaie pel riscaldamento (generalmente chg. 1,3 per cent.^{2}) e perciò la temperatura (di circa 115° C.) delle loro pareti in contatto coll'acqua si potrà in base ai procedimenti già esposti (v. pag. 21 a 37, 108 a 112 e 162 a 164) dimensionarne i reostati.

Seguono alcune indicazioni riguardanti le leghe di ferro che avendo un'alta resistività e potendo sopportare delle assai elevate temperature in contatto coll'aria libera sono adatte ad essere impiegate nella costruzione dei reostati da disporsi nei forni delle caldaie.

Intorno alla resistività elettrica di alcune leghe di ferro refrattarie alle alte temperature.

Dal Laboratorio della *General Electric Company* vennero effettuate delle ricerche esperimentali su delle leghe composte di ferro di Svezia, cromo e manganese di Goldschmid, nichelio della Compagnia internazionale e cobaldo di Eisner e Amond al 98÷99 % dopochè furono fucinate e trafilate in fili finissimi.

Da tali ricerche risulta quanto segue:

Leghe di ferro e di nichelio. — La resistività massima di queste leghe è di 86,3 microohmcentimetri ed è quella della lega avente la seguente composizione:

Ferro 66 p. %, nichelio 34 p. %.

Questa lega non può essere impiegata in diretto contatto coll'aria libera a temperatura superiore a 500° C.

Leghe di ferro e di cromo. — Quando contengono da 78 a 80 p. % di ferro e da 22 a 20 p. cento di cromo presentano la massima resistività che é di 60 microohmcentimetri. Con questi tenori di cromo reggono all'ossidazione sino alla temperatura di 800° centigradi.

Leghe di ferro e di cobalto. — La loro massima resistività, che è di 20 microohmcentimetri, corrisponde alla proporzione da 70 a 80 per % di ferro e da 30 a 20 p. % di cobalto. Non possono essere impiegate all'aria libera che a temperatura non superiore a 400° C.

Leghe di ferro, cromo e nichelio. — Le leghe che contengono dei forti tenori di nichelio e almeno il 20 % di cromo possono sottostare anche alla temperatura di 1000° C. Se contengono più del 27 % di cromo non si possono nè laminare nè trafilare. Le più alte resistività per tenori di cromo inferiori al 27 % corrispondono alle seguenti composizioni per cento:

ferro	35	- nichelio	55	- cromo	10	- resistività	107	microohmcent.
»	17	- »	70	- »	13	- »	104	»
»	16	- »	71	- »	13	- »	100	»
»	25	- »	60	- »	15	- «	110	»
»	6	- »	77	- »	17	- »	105	»
»	50	- »	30	- »	20	- »	93,5	»
»	30	- »	50	- »	20	- »	104	»
»	25	- »	55	- »	20	- »	93.5	»

Leghe di ferro, nichelio, cromo e manganese. — Quelle che hanno un forte tenore di nichelio e di cromo resistono all'os-

sidazione anche a temperature superiori a 1000° C. Presentano la più alta resistività colle seguenti composizioni:

ferro	nichelio	cromo	manganese	resistività in microohmcentim.
42 %	39 %	16 %	3 %	111
35 %	49 %	10 %	6 %	id.
34 %	50 %	10 %	6 %	Id.

Leghe di ferro, nichelio e manganese. — Queste leghe perchè non si ossidino non debbono essere portate a temperatura superiore a 700° C. Le composizioni a cui corrispondono le più alte resistività sono le seguenti:

ferro	nichelio	manganese	resistività in microohmcentimetri
55 %	36 %	9 %	103
53 %	36 %	11 %	id.

Caldaje elettriche propriamente dette.

Le caldaie elettriche propriamente dette si distinguono in due categorie secondochè l'acqua da riscaldare è o non é percorsa dalla corrente. Le caldaie della prima categoria sono sempre a conduzione. Quelle della seconda categoria possono essere a conduzione o a induzione: nel primo caso è possibile di alimentarle indifferentemente con corrente continua o alternati-

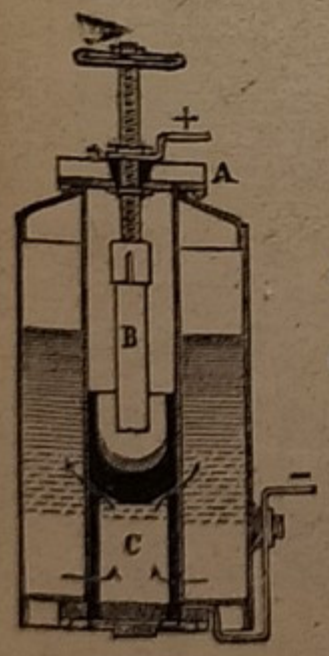


Fig. 201. — Caldaia elettrica **Ougrimoff**

Sezione secondo l'asse

A madrevite e vite per regolare la lunghezza dell'arco.
B elettrodo positivo di carbone.
C elettrodo negativo di ghisa e parete di trasmissione del calore all'acqua.

Altezza: cm. 40 — Diametro: cm. 18 — Pressione: 7 kg. per cent. quadrato — Consumo: 100 ampere sotto 60 ovvero 100 volta — da 6 a 10 chilowatt.

va; nel secondo caso è indispensabile che siano invece alimentate da quest'ultima.

Una delle primitive caldaie a conduzione è quella di Ougrimoff (fig. 201) nella quale il vapore è generato da un arco voltaico continuo il quale si produce tra una bacchetta di carbone ed uno strato di polvere di grafite che riveste il fondo della capacità sferica del solido di rivoluzione in ghisa C. La grafite ha

Fig. 202. — Sezione secondo l'asse

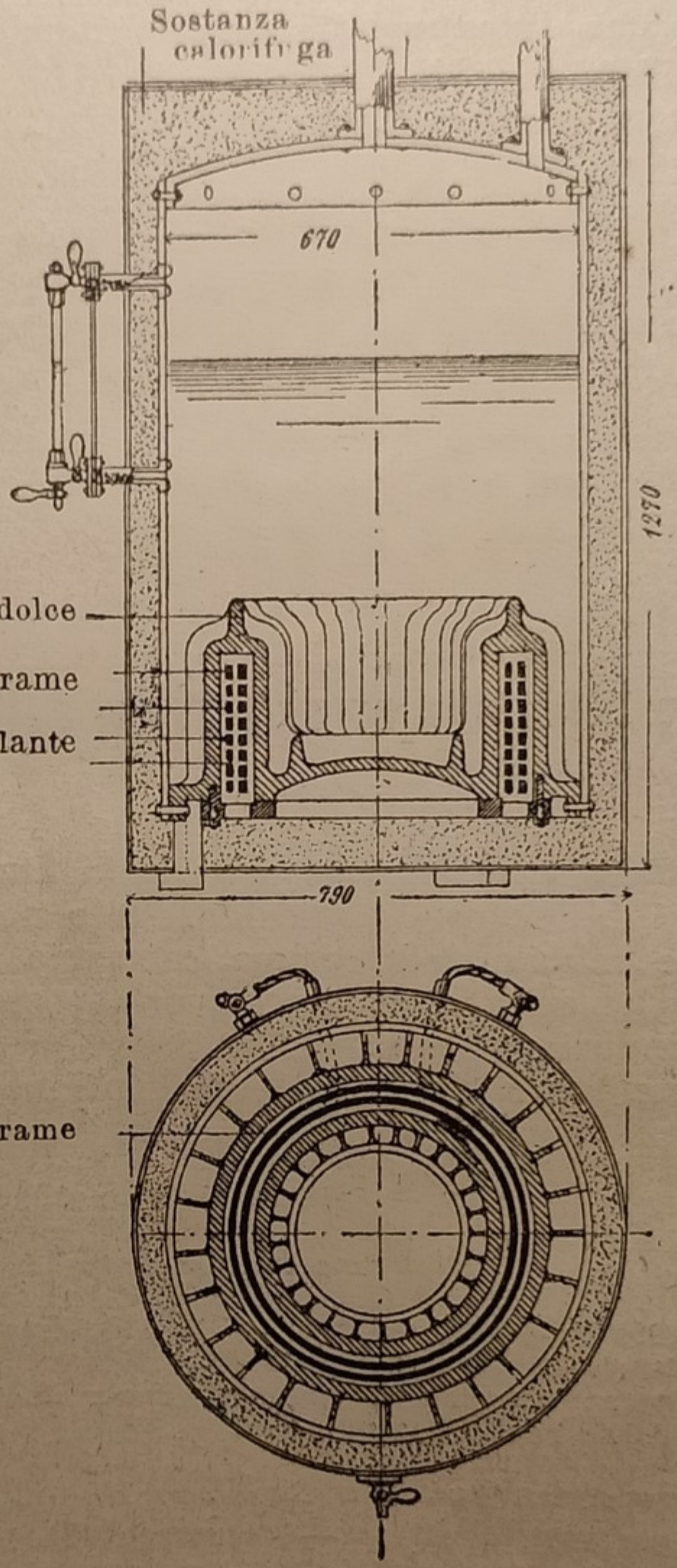


Fig. 203 — Sezione orizzontale.

Fig. 202 e 203. — Caldaia magnetica.

Tensione: 120 volta. — Frequenza: 50. — Potenza: 20 chilowatt — Pressione del vapore: 1 cgr. per cent.^{2}.

La spirale di eccitazione è posta, come vedesi, nello zoccolo: questo, che è di ghisa o di acciajo colato, si riscalda per effetto dell'isteresi e delle correnti parassite e cede il calore dell'acqua con esso in diretto contatto.

il compito di proteggere il solido C contro l'alta temperatura dell'arco e di servire da resistenza di avviamento. Quando la caldaia è inattiva, il carbone B appoggia sulla polvere di grafite. Facendovi circolare la corrente, la grafite si riscalda e la

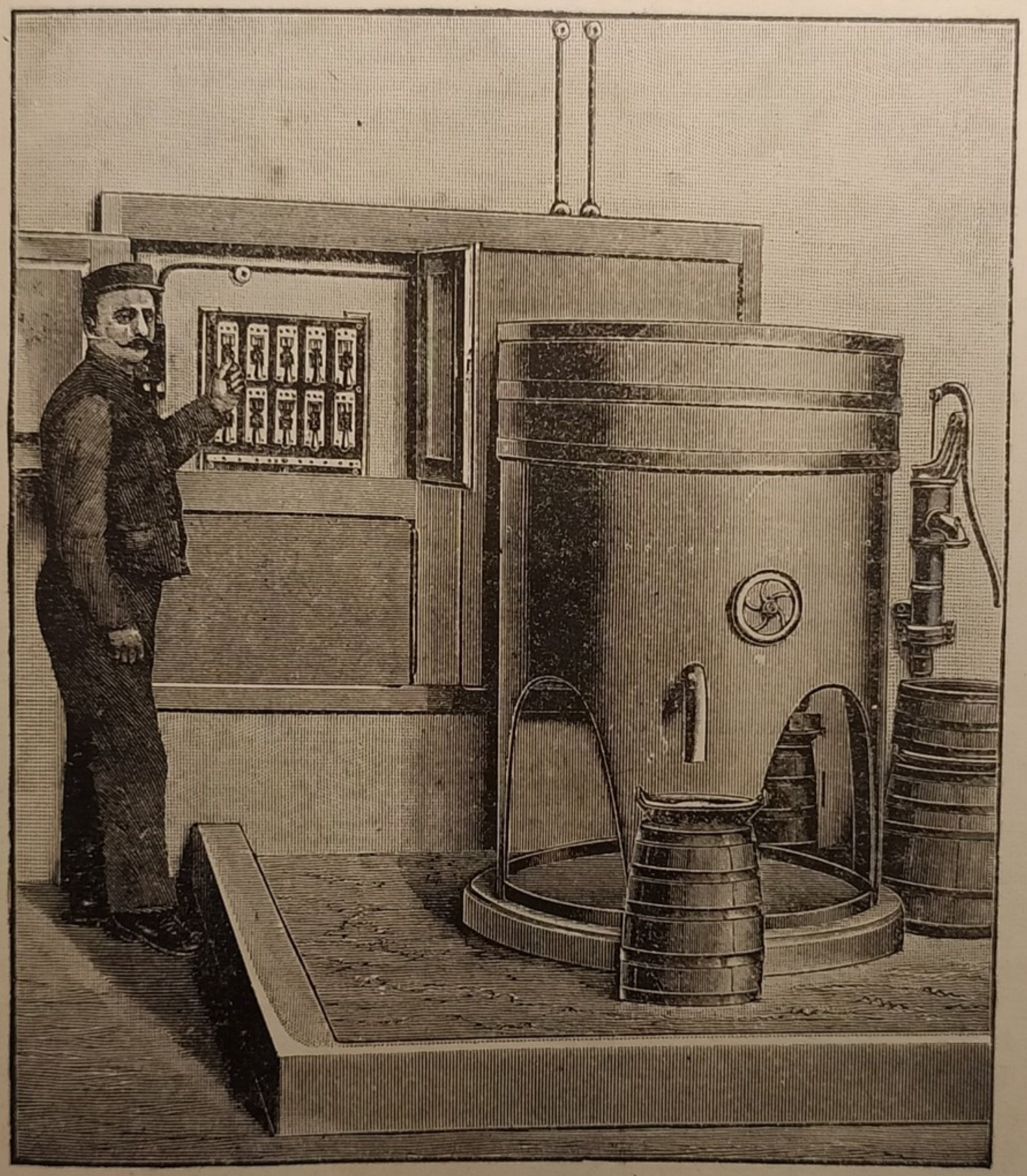


Fig. 204. — Caldaia elettrica per zuccherificio.

sua resistenza che a freddo era assai elevata dimimuisce in breve per modo che riesce possibile di formare l'arco voltaico sollevando il carbone B mercè il volantino. La capacità ove trovasi l'arco è ermeticamente chiusa; una valvola consente l'uscita dei gas che vi si formano.

In parecchie caldaie elettriche a conduzione il riscaldamento

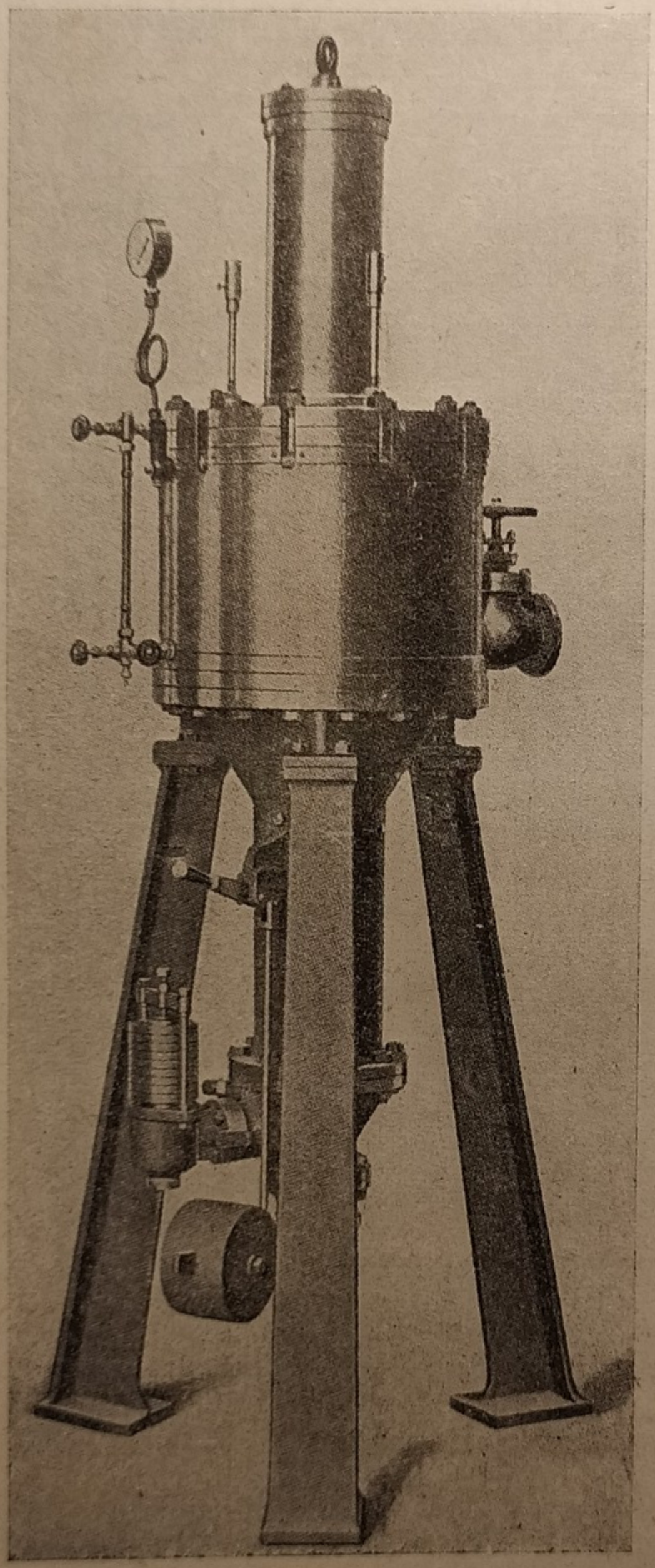


Fig. 205. — Vista esterna.

Fig. 207. — Sezione secondo l'asse.

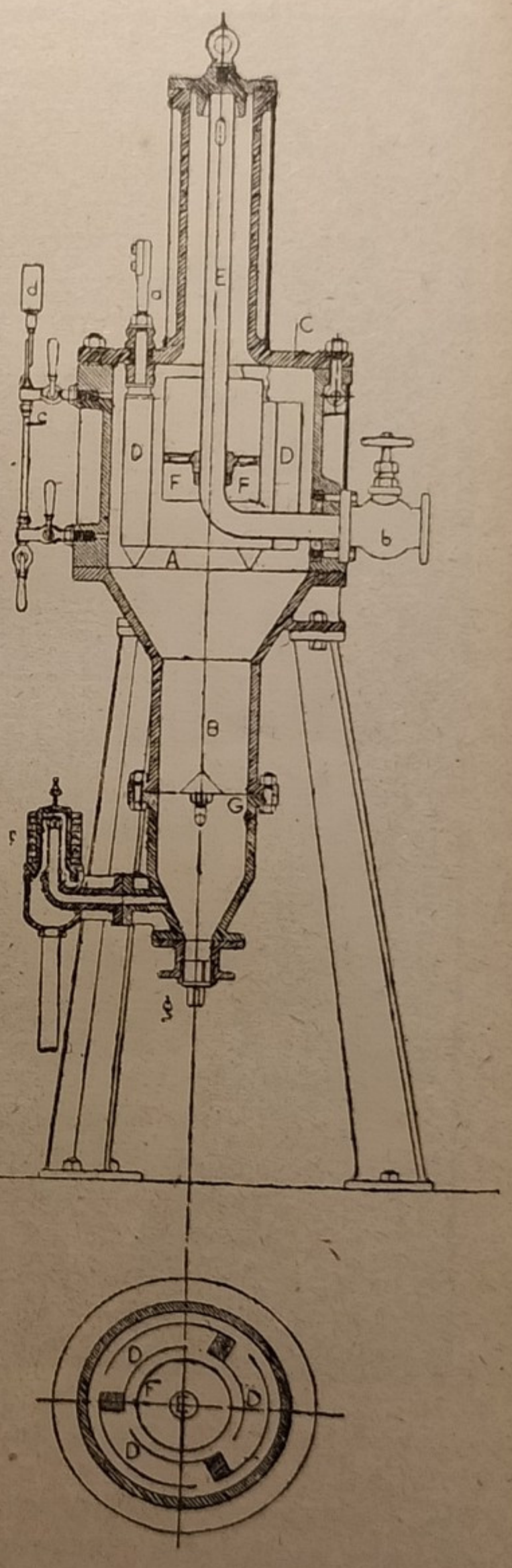


Fig. 206. — Sezione orizzontale.

Fig. da 205 a 207. — Caldaia trifase **Revel.**

Produzione. — tipo per tensioni da 150 a 600 volta: da 200 a 600 kg. di vapore all'ora; — tipo per tensioni da 600 a 6000 volta: da 600 a 900 Kg. di vapore all'ora.

A corpo cilindrico occupato dall'acqua calda e dal vapore.
B corpo in parte cilindrico e in parte conico nel quale arriva l'acqua fredda.
C coperchio o duomo.
D tre elettrodi di acciajo.
a tre aste di ottone isolate che attraversano il coperchio C e sostengono gli elettrodi D.
G iniettore che introduce l'acqua in caldaia.
E tubo di presa del vapore.
F supporto del tubo E.
f regolatore automatico del livello dell'acqua e della produzione del vapore.
b valvola di efflusso del vapore.
g valvola di sicurezza; manovrata a mano serve anche di spurgo.
c livello d'acqua.
d manometro.

NB. — La produzione del vapore è in relazione alla superficie degli elettrodi bagnata dalla soluzione. Quando la produzione tende a divenire eccessiva al bisogno la pressione in caldaia cresce e fa scaricare dell'acqua dalla valvola f per modo che il livello del liquido si abbassa; quando invece la pressione diminuisce per il maggior consumo di vapore, la valvola f si chiude ed il livello del liquido si innalza.

Si potrebbe pure rendere automatica la regolazione della caldaia alimentandola a mezzo di una pompa la quale non vi possa introdurre acqua se non quando la pressione vi sia inferiore ad un determinato valore.

é prodotto da un fascio di tubi paralleli fissati su due placche tubulari di un corpo cilindrico contenente l'acqua da riscaldare e da vaporizzare. Questi tubi nei quali sono allogate le resistenze che trasformano l'energia elettrica in energia termica, sono analoghi a quelli che servono al riscaldamento dei bagni e dei lavabi (V. pag. 172); essi però cedono il calore al liquido a mezzo della loro superficie esterna. Le resistenze sono generalmente costituite da spirali in cromo-nichelio. La migliore disposizione dei tubi riscaldatori agli effetti convettivi è quella secondo cui essi sono immersi verticalmente nell'acqua da riscaldare.

Si costrussero pure delle caldaie a conduzione nelle quali il calore è generato in un fascio di fili metallici paralleli immerso nell'acqua e soggetto ai suoi capi ad una differenza di potenziale. Data la grande resistività dell'acqua a fronte di quella dei fili, trascurabile risulta la corrente elettrica che non circola in questi. E perciò tali caldaie possono essere classificate, come le precedenti, tra quelle della seconda categoria.

Le caldaie a induzione si suddividono in caldaie elettriche e in caldaie magnetiche e sono analoghe rispettivamente agli apparecchi riscaldanti di cui si è trattato rispettivamente alle pagine 133 e 156 e alla pag. 157. Le fig. 202 e 203 porgono l'esempio

di una stufa magnetica per riscaldamento centrale a vapore a bassa pressione.

Per la predeterminazione delle principali dimensioni delle caldaie a induzione, sia elettriche che magnetiche, ci riferiamo a quanto fu esposto nel capitolo alla pag. 106 e alle pag. da 164 a 166.

E' da notarsi che alcune caldaie, come ad es. quella che vedesi nella fig. 204, impiegate in speciali industrie pel trattamento termico di liquidi che si altererebbero al passaggio della corrente, non possono essere che di questi tipi secondo cui il calore viene trasmesso al liquido dalle pareti del recipiente in cui è contenuto o da corpi in esso immersi.

Le caldaie nelle quali il riscaldamento dell'acqua si ottiene facendo circolare in questa, resa conduttiva coll'aggiunta di un po' di soda, la corrente elettrica, si basano sullo stesso principio della stufa ad acqua di cui si diede un cenno a pag. 102. La soluzione sodica costituente la resistenza che si oppone al passaggio della corrente si riscalda e si trasforma occorrendo anche in vapore. Queste caldaie possono essere alimentate da correnti continue od alternative: è preferibile però l'impiego di queste ultime perchè evitano l'elettrosi e consumano meno gli elettrodi.

In alcuni tipi di queste caldaie la corrente elettrica vi circola in fili metallici paralleli immersi nell'acqua e inoltre essendo questi a differente tensione anche nell'acqua interposta tra di essi. E così il calore si genera nei fili metallici e nell'acqua. Mano mano che la temperatura cresce la produzione del calore diminuisce nei fili ed aumenta nell'acqua onde avviene una certa compensazione per cui tale produzione è meno influenzata dalla temperatura.

La Ditta Boselli di Milano si è specializzata nella costruzione di caldaie trifasi, studiate da Revel.

Le fig. 205 a 207 rappresentano il tipo più comune, quello a bassa tensione, di queste caldaie trifasi mentre le annesse leggende ne spiegano chiaramente il funzionamento. Nelle due ultime di queste figure si veggono tre elettrodi in forma di segmento cilindrico tra i quali circolano delle correnti elettriche nell'acqua. Il corpo della caldaia, corrispondendo al punto neutro, non é soggetto a tensione elettrica e può perciò essere impunemente toccato colle mani nude. Delle correnti riscaldanti circolano anche nell'acqua compresa tra il detto corpo e gli elettrodi. Caldaie analoghe si costruiscono pure per tensioni sino a 6000 volta. La regolazione della produzione dell'acqua calda o del vapore vi si ottiene automaticamente colle variazioni del livello del liquido: vi si potrebbe pure ottenere in modo automatico a mezzo delle variazioni della pressione interna, salvo il caso in cui il riscaldamento dell'acqua avvenga in vaso aperto, e cioè sotto pressione costante.

La Ditta G. Mascarini di Milano fornisce delle caldaie trifasi (fig. 208 e 209) analoghe a quella testè descritta nel senso che la regolazione automatica della produzione è basata sulle variazioni altimetriche del livello del liquido, nonchè altre speciali per termosifoni nelle quali la regolazione si ottiene mediante lo spostamento a mano degli elettrodi.

Gli elettrodi delle caldaie Mascarini sono costituiti da tre tubi metallici che sono bagnati internamente ed esternamente dal-

Fig. 208 e 209 . — Caldaia trifase **Mascarini** per la produzione di vapore. **Potenza: 700 chilowatt.**

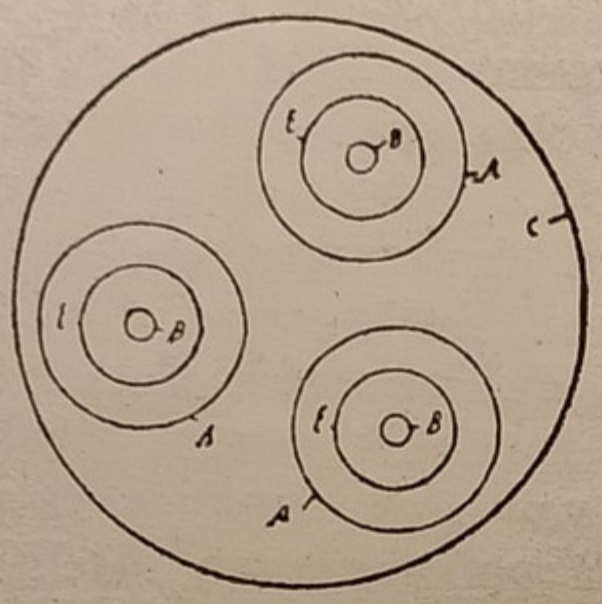


Fig. 208. — Sezione orizzontale.

E — elettrodi tubolari in comunicazione colle tre fasi di distribuzione dell'energia.
A — tubi coassiali con gli elettrodi E.
B — aste cilindriche coassiali con gli elettrodi E.
C — corpo cilindrico con cui sono congiunti i tubi A e le aste B - ad esso non giunge la corrente elettrica e perciò non può da questa essere corroso.

Fig. 209 — Vista esterna

l'acqua: questi tre tubi sono aperti e circondati rispettivamente da altri tre tubi metallici che sono uniti al corpo cilindrico della caldaia, mentre sono muniti internamente di tre aste cilindriche metalliche rispettivamente con essi coassiali, esse pure congiunte a questo corpo cilindrico: ne risulta che la corrente circola nell'acqua compresa tra i tubi interni e i corrispondenti tubi esterni nonchè tra i tubi interni e le corrispondenti aste coassiali, ma non nell'acqua compresa tra i tubi esterni e il corpo cilindrico della caldaia essendo l'uno e gli altri allo stesso potenziale, al quale trovansi pure le aste interne.

La connessione è a stella, della quale il centro corrisponde alla massa della caldaia.

La regolazione si ottiene a mezzo di un soccorritore ampero-

metrico, il quale, a un dato valore della corrente, stabilisce la chiusura di un circuito ausiliario che aziona, aprendola, una valvola elettromagnetica. La pompa di alimentazione funziona in modo continuo mandando l'acqua in caldaia; l'elevarsi del livello dell'acqua determina una maggiore immersione degli elettrodi, e di conseguenza un aumento della corrente assorbita. Quando il valore massimo stabilito é raggiunto, la valvola elettro-magnetica si apre e tutta l'acqua fornita dalla pompa ed una parte di quella che trovasi in caldaia viene rimandata nel pozzetto di alimentazione. Ne viene che il livello diminuisce rapidamente e con esso la domanda di corrente. Quando questa é scesa dal 5 al 7 per cento sotto il valore massimo, il soccorritore apre il circuito ausiliario, che è alla tensione di 40 volta: la valvola elettro-magnetica si chiude e l'alimentazione riprende. Allora il livello sale e la corrente lentamente si riporta al valore massimo. Questo si ripete per tutto il tempo del funzionamento e senza che venga superato il valore massimo della potenza concessa dalle condizioni dell'impianto o dal contratto di fornitura dell'energia elettrica.

Si comprende come la pressione in caldaia non rimanga costante, poichè se costante è il consumo di energia mentre varia la domanda di vapore, deve di conseguenza modificarsi la pressione; ma questo nella pratica non ha importanza per le applicazioni al riscaldamento.

Quando la pressione tende ad aumentare al di là di un certo limite massimo una valvola di sicurezza posta sulla condotta di alimentazione permette lo scarico di una parte dell'acqua dalla caldaia, abbassandone il livello di quanto occorre perchè la quantità di vapore prodotta corrisponda a quella occorrente.

Il descritto dispositivo consente di utilizzare per il riscaldamento dell'acqua o per la produzione del vapore, tutta la potenza elettrica disponibile sino al massimo carico consentito dalle caldaie: l'acqua calda od il vapore prodotti che fossero esuberanti ai bisogni immediati potranno essere immagazzinati in recipienti coibenti.

Le caldaie per termosifoni sono più semplici di quelle a vapore e sono regolabili, come si disse, a mano, in quanto durante il loro funzionamento sono sempre piene di acqua ad una temperatura presso a poco costante cosicchè con lo spostamento degli elettrodi si arriva ad una determinazione esatta e costante della energia assorbita.

La figura 210 indica un tipo di caldaia testè costruita dagli Stabilimenti Brown-Boveri e Sulzer anch'essa basata sull'utilizzazione dell'acqua come reostato. In questa caldaia la regolazione si ottiene non col far variare il livello del liquido, il quale invece si mantiene costante, nè col farvi pescare più o meno gli elettrodi, ma col far variare la distanza tra un elettrodo inferiore mobile ed un elettrodo superiore fisso. Il primo elettrodo

é unito inferiormente ad un tubo di quarzo o di porcellana coassiale col corpo cilindrico della caldaia e spostabile lungo il proprio asse mediante un volante, mentre il secondo elettrodo si trova entro a questo tubo. Con questa disposizione si ottiene una attiva circolazione dell'acqua ed un buon raffreddamento

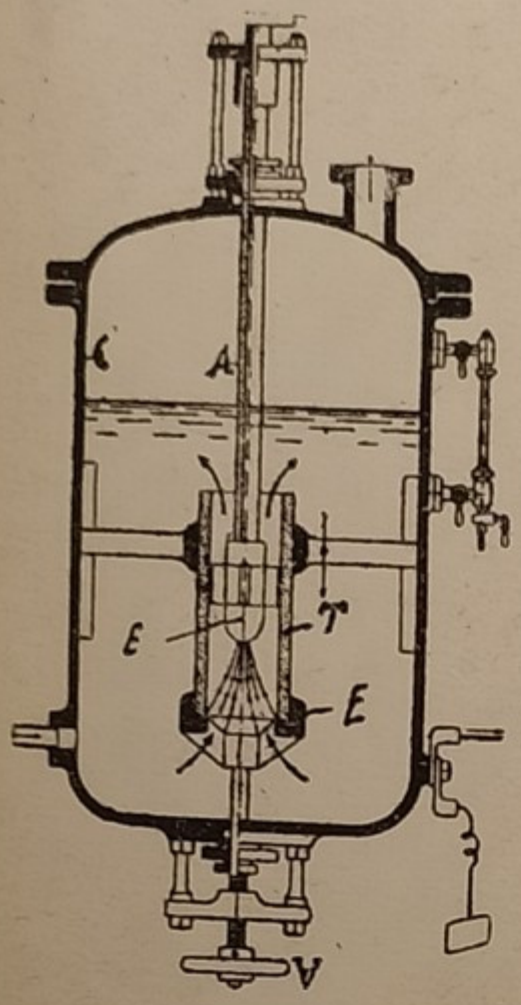


Fig. 210. — Caldaia verticale. Sezione secondo l'asse.

C corpo cilindrico della caldaia

A asta di sostegno dell'elettrodo superiore

T tubo isolante di sostegno dell'elettrodo inferiore

E, E elettrodi

V volantino di comando del tubo T

degli elettrodi. Una caldaia di questo tipo funziona alla tensione di 8000 volta.

Gli stessi stabilimenti costruiscono un altro tipo di caldaia secondo il quale questa é divisa in due compartimenti, uno superiore ed uno inferiore, contenenti ambedue dell'acqua; dal

Fig. 211. — Caldaia orizzontale. Sezione verticale secondo l'asse.

C — corpo cilindrico della caldaia.
E — elettrodi tubolari spostabili
F — tubi coassiali con gli elettrodi e congiunti col punto neutro.
a — contatti di adduzione della corrente trifase.
f e d — Albero e articolazioni per lo spostamento degli elettrodi.

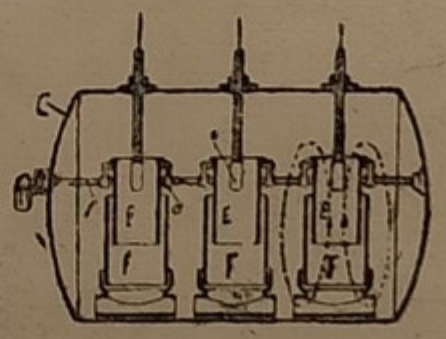


Fig. 210 e 211. — Caldaie **Brown-Boveri.**

primo un getto d'acqua passa nel secondo compartimento, mentre l'acqua che affluisce in questo, mediante una pompa, viene riportata nel primo. La corrente elettrica circola nel getto. La regolazione dell'attività termica si ottiene a mezzo della detta pompa, colla quale si può far variare la quantità d'acqua elevata e conseguentemente la lunghezza e la portata del getto.

Le caldaie Brown-Boveri e Sulzer di cui abbiamo fatto cenno sono monofasi: è facile il concepire come si possano costruire in base agli stessi principj delle caldaie trifasi.

Nella fig. 211 vedesi un tipo di caldaja trifase, pure dovuta a queste ditte, la quale, mentre è orizzontale, ha gli elettrodi disposti verticalmente.

Alle caldaie i cui elettrodi pescano nel liquido da riscaldare non si può muovere altro rimprovero se non che questi si deteriorano rapidamente a cagione delle incrostazioni e delle bolle di vapore che vi aderiscono.

Fig. 212. — Elevazione

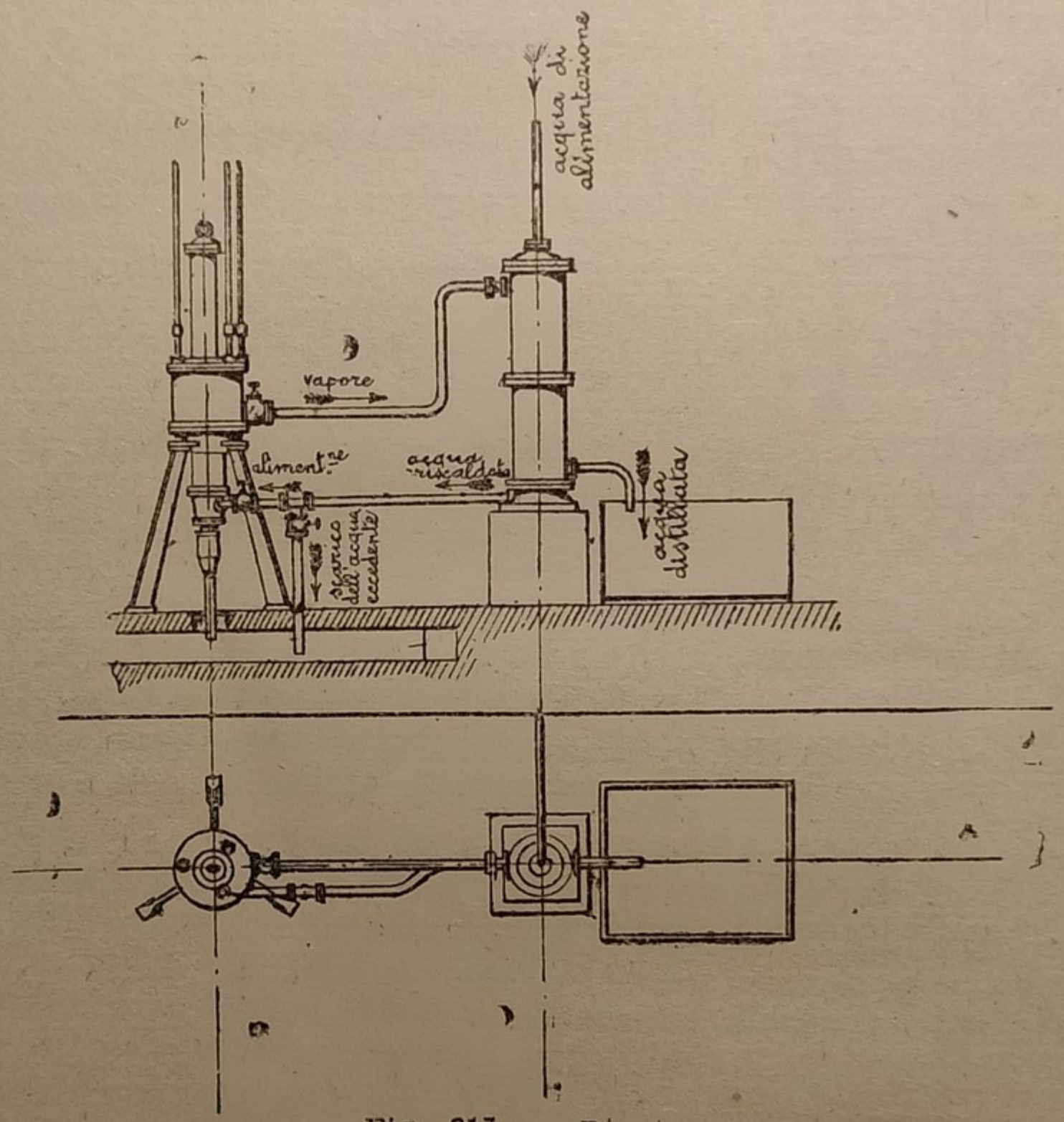


Fig. 213. — Pianta

Fig. 212 e 213. — Distillatore elettrico dell'acqua.

Le caldaie elettriche con elettrodi ricevettero anche delle applicazioni alle locomotive elettriche pel riscaldamento a vapore dei treni nonchè alle centrali elettriche e alle sottostazioni di trasformazione per distillarvi l'acqua occorrente per gli accumulatori elettrici.

Nella sua applicazione alle locomotive elettriche trifasi per produrvi il vapore occorrente al riscaldamento delle vetture, la caldaja trifase ha due soli elettrodi immersi dell'acqua, mentre il terzo elettrodo é costituito dal corpo stesso della caldaja che contiene l'acqua da riscaldare ed é in comunicazione colla fase rappresentata dai binari di corsa.

Un distillatore trifase dell'acqua vedesi nelle figure 212 e 213. L'acqua di alimentazione prima di entrare nella caldaia si riscalda circolando tra due serpentini concentrici, uno esterno di ghisa e l'altro interno di rame, nel quale passa il vapore che condensandosi si converte in acqua distillata. La circolazione dell'acqua d'alimentazione è diretta in senso inverso a quella del vapore.

E' da notarsi a riguardo delle caldaie e dei distillatori alimentati da corrente continua circolante nella stessa acqua da riscaldare, che questa scomponendosi parzialmente al passaggio della corrente, vi si debbono usare degli elettrodi di piombo e debbonsi inoltre raccogliere separatamente i prodotti della scomposizione, idrogeno ed ossigeno, onde non costituiscano un miscuglio detonante.

E' ovvio che le caldaie elettriche e i distillatori elettrici, siano a conduzione o a induzione, si disporranno nei circuiti di distribuzione dell'energia elettrica analogamente ai caloriferi elettrici (fig. da 1 a 5, pag. 20) e dovranno al pari di questi essere protette da valvole di sicurezza, fusibili od elettromagnetiche.

Come è già stato rilevato, la efficienza della caldaia elettrica propriamente detta é di gran lunga superiore a quella della caldaia a combustione.

E invero in un recipiente metallico in contatto da un lato coll'acqua e dall'altro lato colle fiamme, nella quale condizione trovasi il generatore a combustione del vapore, non si possono produrre più di 100 kg. di vapore all'ora per metro quadrato della superficie riscaldata poichè grandissima è la difficoltà che il calore incontra ad abbandonare i gas per portarsi alle pareti metalliche. Nelle caldaie elettriche in cui il calore si genera direttamente nelle loro pareti in contatto coll'acqua da riscaldare o in corpi in questa immersi, come pure nelle caldaie in cui il calore si genera entro l'acqua stessa, che si comporta come una resistenza, la trasmissione del calore all'acqua producendosi senza l'intervento dell'aria o di altro gas, la capacità di assorbimento dell'acqua pel calore é di gran lunga maggiore.

Perciò le caldaie elettriche propriamente dette, come fu pure già osservato, riescono poco ingombranti e si possono con tutta facilità adattare in qualunque locale per fornire l'acqua od il vapore occorrenti pel riscaldamento o nella totalità ovvero in parte, sussidiando in questo caso delle caldaie a combustione. Quelle del tipo Revel o Mascarini occupano un'area da 1/25 a 1/50 e un volume da 1/50 a 1/150 rispetto ai generatori Cornovaglia di pari potenza, non richieggono nè fondazioni, nè murature di rivestimento, nè camini, nè economizzatori, nè assistenza continua; il loro costo é pure notevolmente inferiore (da 1/7 a 1/12) a quello delle caldaie Cornovaglia di pari efficienza.

Parecchi casi si possono presentare nella pratica. O l'energia elettrica che è possibile di avere a prezzo conveniente è in quan-

tità sufficiente ad attivare in modo continuativo l'impianto pel riscaldamento ad acqua od a vapore, ed allora non si richiederebbe che una sola caldaia elettrica. Oppure tale energia è in alcuni periodi di tempo esuberante ed in altri non bastevole, mentre nel suo quantitativo complessivo corrisponde al fabbisogno termico dell'impianto di riscaldamento, ed in tal caso sarà pure sufficiente una sola caldaia elettrica alla condizione però che essa abbia l'ausilio di accumulatori elettrotermici destinati a raccogliervi il fluido caldo in eccesso per distribuirlo in seguito agli apparecchi riscaldanti. Nel caso infine che l'energia elettrica non si possa avere in misura da azionare completamente l'impianto pel riscaldamento, si potrà ricorrere allo impiego di due caldaie, una comune a combustione e l'altra elettrica, che si disporranno in parallelo in modo da alimentare una stessa tubazione. Nel periodo di tempo in cui farà difetto l'energia elettrica, si renderà più attiva la caldaia a combustione; quando invece l'energia elettrica sarà sufficiente al bisogno si potrà rallentare ed anche estinguere la combustione nel forno di questa seconda caldaia, mentre essa potrà essere mantenuta alla pressione di lavoro dalla prima; quando infine l'energia elettrica disponibile diverrà esuberante, l'eccesso di acqua o vapore che essa produrrà a mezzo della caldaia elettrica si immagazzinerà negli accumulatori elettrotermici dei quali abbiamo già fatto menzione più volte e dei quali ci occuperemo in particolare nel prossimo capitolo.

Per il dimensionamento di queste caldaie con resistenza liquida valgono le considerazioni esposte a pag. 102 e 103

V

Accumulatori elettrotermici.

La potenza elettrica di cui si può disporre pel riscaldamento degli ambienti in generale non è nè costante nè continuativa, ma è variabile e intermittente. Conviene infatti destinare a tale scopo la disponibilità dell'energia elettrica e cioè quel quantitativo di energia elettrica che si può prelevare dalla linea ma che non potrebbe essere altrimenti utilizzato.

Il diagramma giornaliero del carico diretto di una centrale idroelettrica destinata a fornire o luce o energia meccanica o sia l'una che l'altra è differente a seconda dei giorni e rappresenta non già un carico costante ma bensì un carico variabile col tempo con delle vere soluzioni di continuità.

E invero intermittente e incostante è il carico dato dall'illuminazione, dalle tramvie e dalle macchine operatrici degli stabilimenti industriali, ed inoltre la sospensione del lavoro durante la notte nella generalità di questi, rende disponibile per parecchie ore notturne quella potenza elettrica che essi impegnano durante il giorno. Orbene devesi impiegare pel riscaldamento nella totalità od in parte quell'energia complementare mercé la quale il carico risulterebbe pari alla potenza massima che la centrale è in condizioni di fornire a seconda della disponibilità dell'acqua che ne aziona le turbine idrauliche.

Il riscaldamento degli ambienti provvisti di stufe elettriche si può rendere nondimeno soddisfacente, almeno in molti casi, munendo queste di adatti accumulatori del calore che potranno essere incorporati con esse o formarne un'espansione od una dipendenza. In queste stufe ad accumulatori l'energia si immagazzina a spese della stessa corrente che provoca il riscaldamento dell'ambiente: cessando questa o divenendo essa insufficiente, gli accumulatori cederanno essi automaticamente del calore all'ambiente.

E' ovvio che i corpi destinati ad immagazzinare in sè il calore debbono essere in intimo contatto colle resistenze riscaldanti.

Per accumulare il calore nelle stufe per appartamenti vi si

impiega frequentemente la maiolica compatta, il cui potere calorifico, a seconda della qualità, varia da 0,4 a 0,68 per decim.^{3} Usata allo stato polverulento il suo potere discende a 0,2÷ 0,4 per dicm.^{3}: però in questo caso il contatto con le resistenze riscaldanti viene più facilmente assicurato, ciò che permette di ottenere degli accumulatori meno costosi.

Gli accumulatori delle stufe per magazzini, officine e sale di riunioni constano generalmente di sabbia. Il calore specifico della sabbia è dello stesso ordine di grandezza di quello della maiolica polverulenta.

Una delle migliori sostanze per l'accumulazione del calore è l'acqua. Gli accumulatori ad acqua sono analoghi, come principio, ai riscaldatori dei liquidi dei quali si è precedentemente parlato (v. pag. 102 e Parte II). Tutte le caldaie elettriche e magnetiche di cui forma oggetto il precedente capitolo possono servire come accumulatori elettrotermici alla condizione che ne sieno rese coibenti le superfici in contatto coll'aria ambiente. Esse se sono del tipo secondo cui l'acqua vi si riscalda senza essere attraversata dalla corrente offrono anche il vantaggio di fornire l'acqua calda occorrente per tutti gli usi domestici, e cioè anche per le vivande e le bevande. In parecchi appartamenti si riscontrano delle piccole caldaie di questo tipo che si inseriscono nella distribuzione dell'energia elettrica alla sera quando si va a letto per esservi disinserite al mattino e sono destinate a fornire l'acqua calda occorrente pel bagno, per la doccia, pel caffè, ecc.

Potrà pure essere utile per l'immagazzinamento del calore l'impiego dell'acetato di soda, della barite e della paraffina, sostanze che hanno una capacità di accumulazione del calore superiore a quella dell'acqua.

Si proposero inoltre degli accumulatori elettrotermici costituiti da cemento armato, e cioè da sbarre di ferro, di acciaio o di ghisa allogate nel cemento, dei quali il riscaldamento si ottiene facendo circolare la corrente elettrica in tali sbarre metalliche, mentre tanto queste quanto il cemento servono da accumulatori del calore. Ma il calore specifico del cemento armato essendo notevolmente inferiore a quello dell'acqua, queste stufe avranno una capacità specifica di accumulazione inferiore a quelle ad acqua, all'acetato di soda, alla barite o alla paraffina, a meno che non si portino a più elevate temperature.

Per ben chiarire questo concetto devesi osservare che la capacità di accumulazione termica delle varie sostanze cresce con la temperatura a cui si possono convenientemente assoggettare: per l'acqua non é consigliabile una temperatura superiore a 200° C. onde non oltrepassare la pressione di 15 chilogrammi per cent.^{2}; pel petrolio si potrebbe ammettere la temperatura di 300 ÷ 350° C. corrispondendo a questa la pressione di circa 10 chilogrammi per cent.^{2}, ma non una temperatura superiore per-

chè esso potrebbe decomporsi provocando delle esplosioni; pel cemento ed altre sostanze minerali non devesi ragionevolmente oltrepassare la temperatura di 350° C. Ne risultano i seguenti valori comparativi delle capacità di accumulazione per m.³ riferendole alla temperatura iniziale di o°C. :

acqua liquida alla temperatura di 190° C.	170000 calorie
petrolio liquido alla temperatura di 320° C.	77000 calorie
cemento ed altre sostanze minerali alla temperatura di 350° C.	da 250000 a 300000 calorie
maiolica compatta id. id.	da 150000 a 190000 calorie.

Non è pertanto da consigliarsi l'impiego del petrolio rispetto a quello delle altre sostanze accennate, per la sua minore capacità di accumulazione del calore, almeno alle temperature praticamente ammissibili, tanto più che esso non è scevro di pericoli di esplosione e di incendio. Come si dirà, il petrolio potrà però essere convenientemente applicato in casi speciali pel trasporto del calore da un corpo ad un altro.

Quanto agli accumulatori ad acqua liquida si può ritenere che la pressione per cui è minima la spesa d'impianto per una data capacità termica sia quella da 10 a 12 chilogrammi per cent.² tenuto conto che il peso del recipiente di acciaio e il volume specifico dell'acqua aumentano colla pressione, mentre le spese per assicurare la coibenza sono proporzionali alla superficie del recipiente e diminuiscono con la pressione.

Il vapore d'acqua saturo à, a parità di volume, una capacità di accumulazione del calore di gran lunga inferiore a quella dell'acqua liquida. E basti considerare che mentre un m.³ d'acqua liquida alla temperatura di 190° C. contiene, come si disse, 170.000 calorie, lo stesso volume di vapore acqueo saturo alla medesima temperatura non ne contiene che poco più di 4300. Per contro riferendola all'unità di peso, al chg., è la capacità di accumulazione termica del vapore acqueo saturo che supera di molto quella dell'acqua liquida. Un chilogramma di vapore acqueo saturo infatti tiene immagazzinato per valori della pressione da 5 a 15 chg. per cent.² da 652 a 667 calorie, mentre un chilogrammo d'acqua liquida non ne contiene che da 152 a 199 entro gli stessi limiti di pressione.

Un metro cubo di vapore saturo accumula tanto più calore quanto più è alta la sua temperatura e perciò la sua pressione; però col crescere della pressione l'accumulazione termica del vapore cresce meno rapidamente, talchè per uno stesso incremento di pressione tale accumulazione é meno grande quanto più è alta la pressione.

Le stufe con accumulatori si calcolano in generale per un regime di immagazzinamento della durata di 8 ore al giorno e per una restituzione di calore durante le rimanenti 16 ore.

Infine si impiegano pure degli accumulatori elettrotermici che

al pari delle caldaie comuni od elettriche (v. Parte IV) immettono l'acqua ed il vapore negli ordinari apparecchi centrali di riscaldamento.

Nella figura 214 vedesi lo schema di un impianto secondo cui

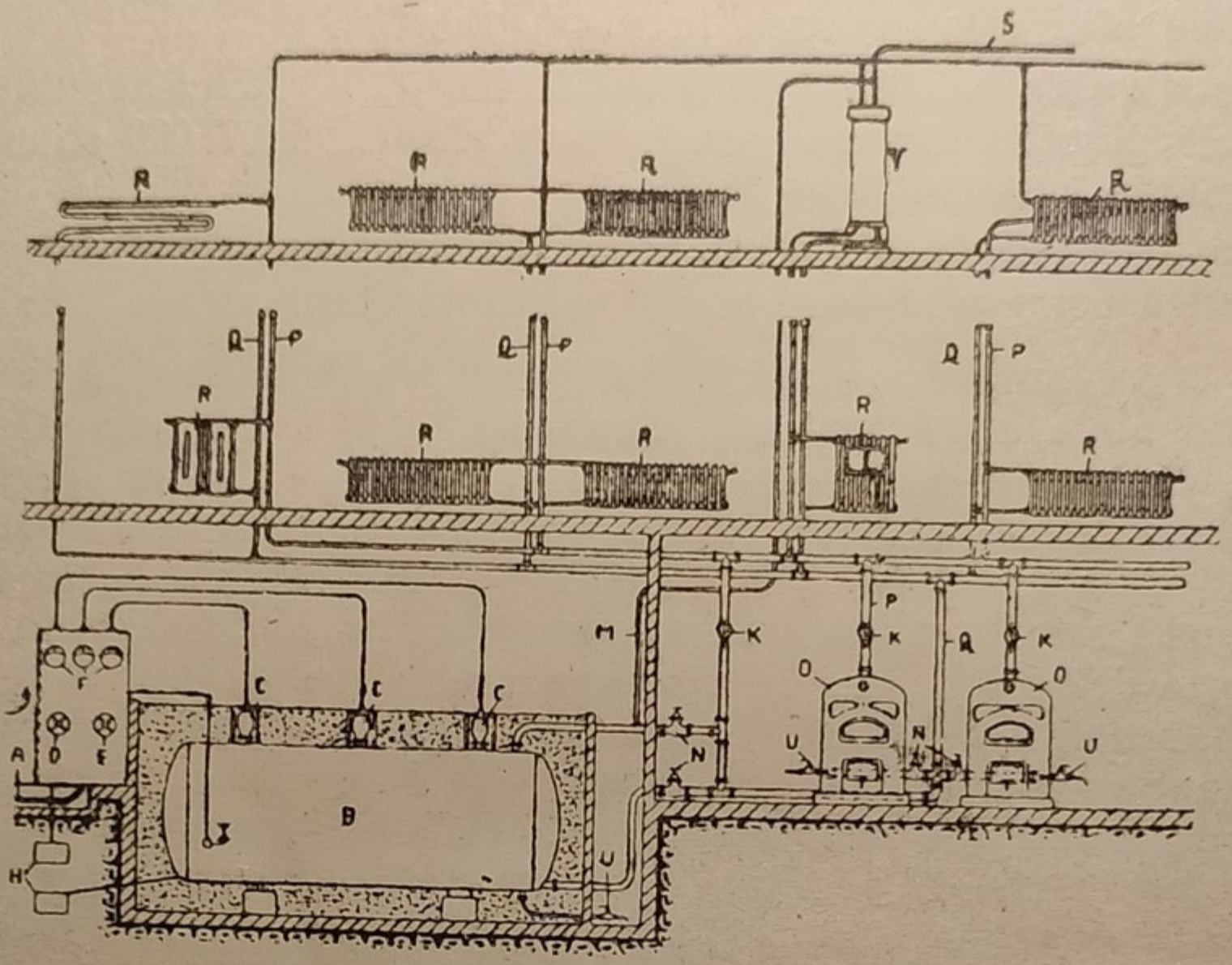


Fig. 214. — Impianto di un termosifone alimentato da caldaie comuni e da un accumulatore elettrotermico.

A — quadro di distribuzione dell'energia elettrica.
B — accumulatore elettrotermico.
C — morsetti di adduzione della corrente.
D — interruttore ad olio.
E — regolatore della corrente elettrica.
F — strumenti elettrici di misura.
H — piastre di terra.
I — presa della temperatura.
K — termometri.
M — condotte di sicurezza.
N — valvole di regolazione dell'acqua di circolazione.
O — caldaie a combustibile.
P — ramo di andata della tubazione di riscaldamento.
Q — ramo di ritorno id. id. id. id.
R — stufe.
S — sfiatatoio.
U — chiavi di scarico.
V — vaso di espansione.

un accumulatore ad acqua può riscaldare da solo od in unione a delle caldaie comuni, l'acqua di circolazione di un termosifone«

Da quanto fu esposto emerge che per accrescere la capacità di accumulazione conviene di immagazzinare il calore nell'acqua anzichè nel vapore. L'acqua calda dell'accumulatore potrà poi essere utilizzata sia allo stato di acqua che allo stato di vapore per cedere calore agli ambienti. Nel primo caso essa verrà impiegata negli apparecchi a termosifone come nell'esempio testè addotto. Nel caso invece che debba alimentare una condotta di riscaldamento a vapore, ad es. alla pressione assoluta di chg. 1,5 per cent.^{2}, potrà essere conveniente che essa, come si disse più sopra, abbia nell'accumulatore la pressione intorno a 11 Kg. per cent.^{2}. L'acqua uscendo dall'accumulatore elettrotermico si espanderà nella condotta subendo un abbassamento di temperatura da 180° C. a 111° C. e cioè di 69° C., ge-

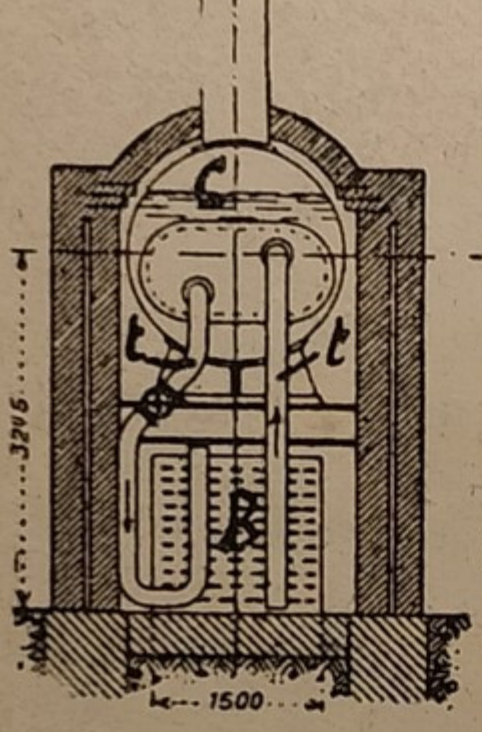


Fig. 215.
Sezione trasversale

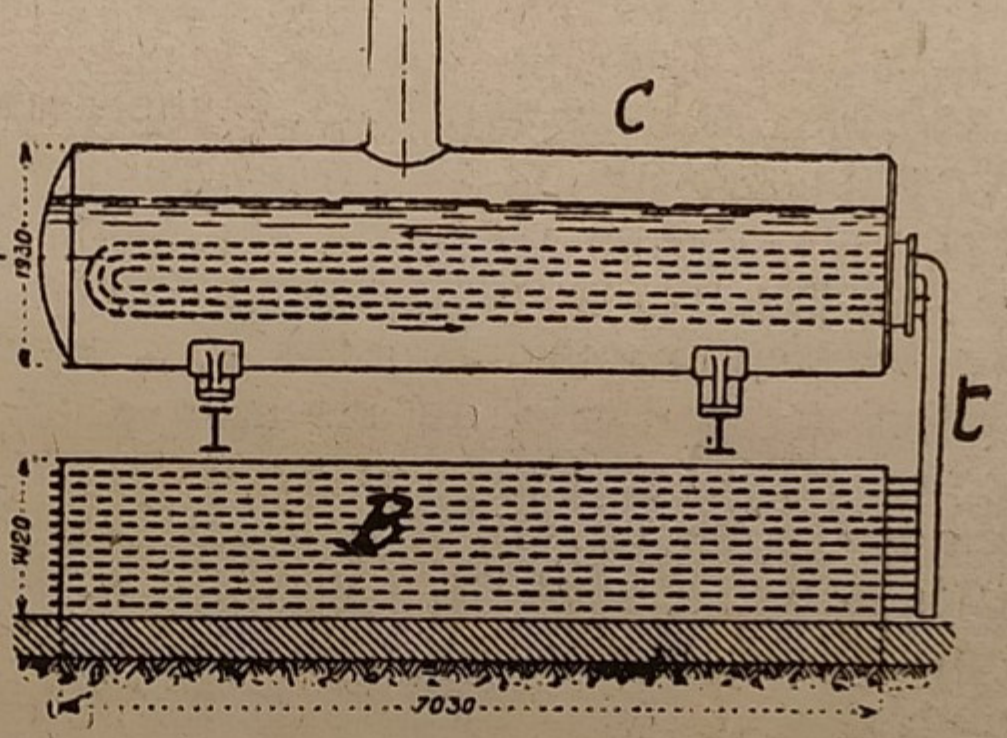


Fig. 216.
Vista longitudinale.

Fig. 215 e 216. — Accumulatore elettrotermico in cemento ed acqua con circolazione d'olio.

B basamento in cemento — C caldaia — t tubi di circolazione dell'olio.

nerando per ogni m.c. di acqua circa 108 Kg. di vapore. Il consumo di energia elettrica si può ritenere di circa chilowattore 1,25 per ogni Kg. di vapore.

Le fig. 215 e 216 mostrano un accumulatore centrale elettrotermico misto in cemento ed acqua con circolazione d'olio minerale, il quale mentre può pure alimentare delle condotte di riscaldamento ad acqua calda od a vapore, presenta la particolarità di avere una capacità specifica di accumulazione di gran lunga superiore a quella dei semplici accumulatori ad acqua.. Il cemento costituisce un basamento su cui riposa un comune corpo cilindrico di una caldaia: in esso sono allogati dei fili di ferro nei quali circola la corrente elettrica e dei tubi metallici nei quali circola il petrolio.

Questi tubi comunicano con altri tubi allogati nell'interno della

caldaia entro la massa d'acqua da riscaldare, per modo da costituire con essi un termosifone che assicura la circolazione del petrolio. La corrente elettrica passando nei fili di ferro produce il riscaldamento sia di essi che del cemento ed il calore propagandosi al petrolio, a mezzo di questo, che viene posto in circolazione, si trasmette all'acqua della caldaia. Il petrolio, come vedesi, serve di veicolo del calore generato nelle resistenze metalliche ed il suo impiego é giustificato dalla necessità di evitare le alte pressioni a cui, nelle sue condizioni di temperatura, l'acqua sarebbe assoggettata. Una caldaia di questo tipo, la quale ha un basamento di cemento del volume di 15 metri cubi, è capace di assorbire oltre 3000 chilowattore e cioè circa 2.600.000 calorie durante 9 ore, la sua pressione salendo da 2 a 6 chg. per cent.^{2}. Un metro cubo dell'insieme di questo impianto risulta equivalente nei riguardi dell'accumulazione del calore a m.^{3} 2,7 d'acqua a 148° C.

Il relativo calore specifico è mediamente di 0,31 calorie. Il rendimento globale vi fu riscontrato del 77 per cento.

Anche il fornello elettrico nel sistema di riscaldamento centrale ad aria calda può essere sussidiato da un accumulatore elettrotermico, preferibilmente in cemento, posto ove avviene la introduzione dell'aria da riscaldare; il quale assorbirà del calore per effetto dell'eccesso dell'energia elettrica e si scaricherà elevando la temperatura dell'aria che lo lambisce quando l'energia elettrica sarà in difetto.

Aggiungasi che con qualsiasi sistema di riscaldamento ad azionamento elettrico è compatibile l'impiego di serbatoi con pareti coibenti, come ad esempio quelli speculari degli apparecchi *termos*, contenenti dell'acqua che sarà riscaldata elettricamente e che si conserverà calda anche a lungo per essere impiegata in ogni occorrenza.

Tutti gli accumulatori di qualunque tipo essi sieno esercitano in ultima analisi una funzione affine a quella dei gasometri telescopici che accumulano il gas quando la produzione di esso eccede il consumo e lo somministrano agli apparecchi utilizzatori allorquando la produzione stessa è insufficiente al bisogno.

Gli accumulatori elettrotermici occorrenti nell'economia domestica, a seconda delle loro caratteristiche, possono essere alimentati oppure no dalle canalizzazioni già esistenti per la distribuzione della luce nelle abitazioni. Se sono destinati ad assorbire delle correnti elettriche assai cospicue richieggono delle modificazioni alle dette canalizzazioni ovvero anche delle apposite proprie condotture. Invece, limitatamente alle esigenze della cucina e del riscaldamento dell'acqua ad uso personale, si possono costrurre degli accumulatori elettrotermici, suscettibili anche di buon rendimento, che pure essendo capaci di fornire le occorrenti quantità di calore, presentano la particolarità di essere alimentati da correnti elettriche di intensità assai limitata

per modo da essere compatibili con i preesistenti impianti di distribuzione dell'energia elettrica. Evidentemente per raggiungere lo scopo bisognerà che l'assorbimento della corrente da parte degli accumulatori elettrotermici avvenga durante un lungo periodo di tempo, per il che converrà di lasciarli perennemente inseriti nella rete che li alimenta.

Non occorre di rilevare che gli accumulatori elettrotermici si inseriscono nei circuiti di distribuzione dell'energia elettrica agli stessi modi delle stufe, come indicano le fig. da 1 a 5 (p. 20), e allo stesso modo delle stufe si muniscono di valvole fusibili od elettromagnetiche per preservarli dall'eventualità dei corti circuiti.

Aggiungeremo ancora, perchè ci sembra che l'esempio sia degno di imitazione, che in Inghilterra, in case campestri, troppo discoste dalle distribuzioni delle centrali elettriche perchè possano ad esse essere allacciate, per l'illuminazione e il riscaldamento degli ambienti, per la cucina, per la cottura del pane, pel bagno, per la soppressatura e per altri bisogni domestici a cui servono gli svariati apparecchi di cui si fece cenno, si impiega l'energia elettrica generata da un corso d'acqua vicino, il quale a mezzo di una turbina speciale comanda un generatore generalmente a 250 volta.

Noteremo per ultimo che gli accumulatori elettrotermici possono consentire di impiegare pei riscaldamenti occorrenti nelle abitazioni persino l'energia elettrica generata dalla forza variabile in intensità e direzione delle correnti aeree che viene raccolta a mezzo dei cosidetti molini a vento.

FINE.

INDICE

Al benevolo lettore . . . . . *Pag.* 3
PREFAZIONE ALLA 2ª EDIZIONE . . . . . » 5
UNITA' ASSOLUTE E PRATICHE . . . . . » 11
INTRODUZIONE . . . . . » 13

PARTE I.

Riscaldamento dei locali . . *Pag.* 17

Diversi sistemi di apparecchi elettrici di riscalmento . . . . . » 18

Caloriferi a conduzione . . . . . » 19

CALORIFERI COSTITUITI DA RESISTENZE METALLICHE NUDE IN FORMA DI FILI, NASTRI E PIASTRE . . . » 21

Determinazione della resistenza ohmica . . » 21
Determinazione del numero degli elementi componenti la resistenza ohmica . . . . » 22
Esempi numerici . . . . . » 23
Differenti valori della potenza termica . . . » 25
Altri modi di regolare la potenza termica . . » 28
Influenza della temperatura della resistenza ohmica sulla potenza termica . . . . » 30
Resistività di parecchi metalli e leghe . . » 33
Considerazioni sulla resistenza ohmica . . » 34
Predeterminazione delle dimensioni della resistenza ohmica . . . . . » 35
Resistenze filiformi . . . . . » 40
Sul coefficiente della conduttività termica esterna dei fili . . . . . » 43
Esempi numerici . . . . . » 47

Altra espressione del diametro della resistenza filiforme . . . . . *Pag.* 47
Determinazione del diametro e della lunghezza della resistenza elementare filiforme . . » 49
Considerazioni sull'espressione dei coefficienti di convessione . . . . . » 51
Temperatura dei conduttori riscaldanti . . » 51
Esempi numerici . . . . . » 51
Determinazione approssimata delle dimensioni della resistenza filiforme . . . . . » 53
Resistenze in forma di nastro . . . . . » 55
Resistenze in forma di piastre . . . . . » 57

Esempi di caloriferi costituiti da resistenze filiformi nude . . . . . » 58

STUFE CON RESISTENZE PARZIALMENTE NUDE COSTITUITE DA SOTTILISSIMI VELI METALLICI DEPOSTI SU SOSTANZE ISOLANTI . . . . . » 67

Calcolazione di questi apparecchi . . . . » 67
Esempi di questi apparecchi . . . . . » 69

CALORIFERI FORMATI DA FILI O NASTRI METALLICI RIVESTITI DA GUAINE ISOLANTI DELLA STESSA FORMA » 70
Calcolazione di questi apparecchi . . . » 71

CALORIFERI COSTITUITI DA RESISTENZE METALLICHE RACCHIUSE IN PIASTRE O IN COFANI ISOLANTI . . » 72
Sistemi in cui la sostanza isolante aderisce intimamente coi conduttori metallici . . » 73
Calcolazione di questi apparecchi. . . . . » 74
Esempi di questi apparecchi . . . . . » 88
Sistemi in cui la sostanza isolante non è aderente ai conduttori metallici . . . . . » 81

TESSUTI TERMOFILI . . . . . » 87

STUFE COSTITUITE DA LAMPADE ELETTRICHE . . . » 91

STUFE CON RESISTENZE METALLOCERAMICHE . . . » 96

STUFE CON RESISTENZE IN SILICIO . . . . . » 99

STUFE CON RESISTENZE COSTITUITE DA MISCUGLI GRANULOSI . . . . . » 101

STUFE CON RESISTENZA LIQUIDA . . . . . » 102

Resistività di soluzioni acquee di carbonato di soda . . . . . *Pag.* 103

ALTRI APPARECCHI ELETTROTERMICI . . . . . » 104

MODI DI ANNULLARE L'INDUTTANZA . . . . . » 104

Caloriferi magnetici . . . . . *Pag.* 106

PREDETERMINAZIONE DELLE DIMENSIONI DEL CALORIFERO » 107

Determinazione della superficie del nucleo . » 108

Esempi numerici . . . . . » 112

Determinazione dello spessore del nucleo . . » 112

Influenza delle correnti di Foucault . . » 113

Esempi numerici . . . . . » 113

Influenza dell'isteresi . . . . . » 114

Influenza complessiva delle correnti di Foucault e dell'isteresi . . . . . » 115

Calcolo del circuito di eccitazione . . . » 116

Determinazione del numero delle spire. . » 116

Numero delle spire a cui corrisponde la massima potenza calorifica . . . » 117

Influenza del numero delle spire sulla potenza calorifica 118

Funzionamento sotto differenti dislivelli di potenziale e a differenti frequenze . . » 120

Determinazione della sezione delle spire » 121

Altro modo di determinare l'intensità della corrente . . . . . » 123

Influenza del disperdimento magnetico . » 124

Influenza della resistenza elettrica interna » 127

Intorno al fattore di potenza . . . » 128

Influenza della natura del nucleo . . » 129

Considerazione sul circuito di eccitazione . » 131

ALTRE STUFE MAGNETICHE . . . . . » 132

PARALLELO TRA I CALORIFERI A INDUZIONE E QUELLI MAGNETI . . . . . » 135

INTORNO AL FUNZIONAMENTO DELLE STUFE MAGNETICHE . . . . . » 136

Costo del riscaldamento dei locali . . . . . *Pag.* 139

DENATURATORI DELLA CORRENTE ELETTRICA . . » 141

UTILIZZAZIONE DELL'ENERGIA TERMICA GRATUITA . » 142

PARTE II.

Riscaldamento dei liquidi e delle vivande . . *Pag.* 143

Apparecchi pel riscaldamento dei liquidi e delle vivande . » 146

RISCALDAMENTO MISTO (ELETTRICO E ORDINARIO) . » 161

CALCOLAZIONE DEGLI APPARECCHI PEL RISCALDAMENTO DEI LIQUIDI E DELLE VIVANDE . . . . » 162

Costo del riscaldamento dei liquidi e degli alimenti . . » 166

PARTE III.

Altre applicazioni del riscaldamento elettrico . *Pag.* 169

AUTOVAPORIZZATORE ELETTRICO . . . . . » 188

PARTE IV.

Caldaie elettriche . . , *Pag.* 190

Trasformazione delle caldaie comuni in elettriche . . » 190

INTORNO ALLA RESISTIVITA' ELETTRICA DI ALCUNE LEGHE DI FERRO REFRATTARIE ALLE ALTE TEMPERATURE . » 193

CALDAIE ELETTRICHE PROPRIAMENTE DETTE . . » 193

PARTE V.

Accumulatori Elettrotermici . . *Pag.* 205

Limitatori ELEKTRON

per corrente
continua ed alternata

■■

TIPI A LUCE OSCILLANTE

E

TIPI A ESTINZIONE TOTALE

Questi Limitatori sono i più sensibili e d'un funzionamento più sicuro che non i Limitatori a contatto secco; ed è per questa ragione che chi li ha esperimentati, in confronto di tutti gli altri, li preferisce.

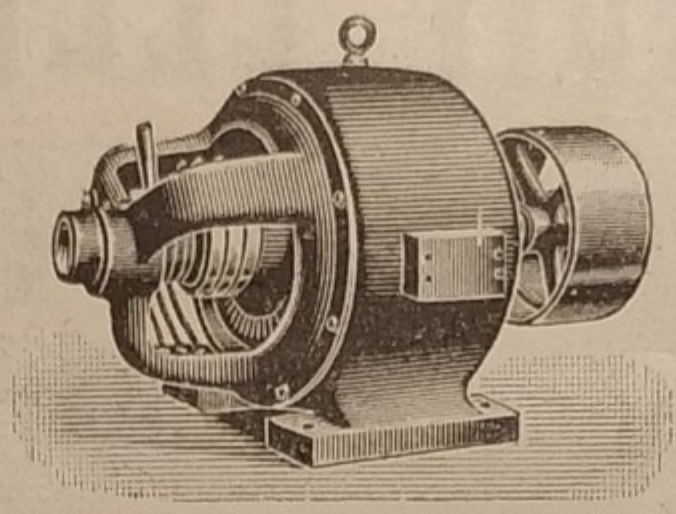
Rivolgersi allo

STUDIO ELETTROTECNICO INDUSTRIALE

MILANO – Casella Postale 912

ERCOLE MARELLI & C.

MACCHINE ELETTRICHE



MOTORI
ALTERNATORI
ELETTROPOMPE
AGITATORI D'ARIA

DINAMO
TRASFORMATORI
VENTILATORI
ASPIRATORI

MILANO - SESTO S. GIOVANNI

LAMPADE ELETTRICHE

A FILAMENTO METALLICO

STUDIO ELETTROTECNICO INDUSTRIALE

LUGANO - Via Tesserete, N. 7
MILANO - Casella Post. N. 912

ACCUMULATORI HENSEMBERGER

Accumulatori stazionari di qualsiasi capacità per scariche rapide e per scariche lente ::

Accumulatori speciali tipo trazione in recipienti di ebanite per grue e locomotori elettrici :: :: :: :: :: ::

Accumulatori leggieri per elettromobili e per battelli :: :: :: :: ::

Accumulatori speciali per propulsione sommergibili, per radiotelegrafia e per servizi di bordo :: :: :: :: :: ::

Batterie portatili per illuminazione automobili e per avviamento motori :: :: ::

Batterie speciali per illuminazione vetture ferroviarie e tramviarie :: :: ::

Chiedere listini e preventivi alla

FABBRICA ACCUMULATORI HENSEMBERGER

MONZA

ANNO XXIX **L'Elettricista** ANNO XXIX

Rivista Quindicinale di Elettrotecnica

Premiata con Medaglia d'Oro all'Esposizione di Torino 1911 e S. Francisco 1915

Telegrafo Elettricista-Roma	DIRETTORE **Prof. ANGELO BANTI**	Telefono Intercom. **28-47**

ROMA *Direzione: Via Cavour,* 110 ROMA

PREZZO DI ABBONAMENTO

In ITALIA, per un anno L. **16** — Unione postale L. **20**

Un numero separato L. **1.**

NUMERO DI SAGGIO GRATIS

L'Associazione è obbligatoria per un anno ed ha principio sempre col 1° gennaio. - L'abbonamento s'intende rinnovato per l'anno successivo se non è disdetto dall'abbonato entro l'ottobre.

Il miglior mezzo per abbonarsi è quello di mandare cartolina vaglia indirizzata

all'Amministrazione dell' **ELETTRICISTA** - *ROMA.*

STRUMENTI ELETTRICI DI MISURA

STUDIO ELETTROTECNICO INDUSTRIALE

LUGANO
Via Tesserete N. 7.

MILANO
Casella Postale N. 912.

SOCIETA' NAZIONALE DELLE

OFFICINE DI SAVIGLIANO

OFFICINE IN TORINO ED IN SAVIGLIANO

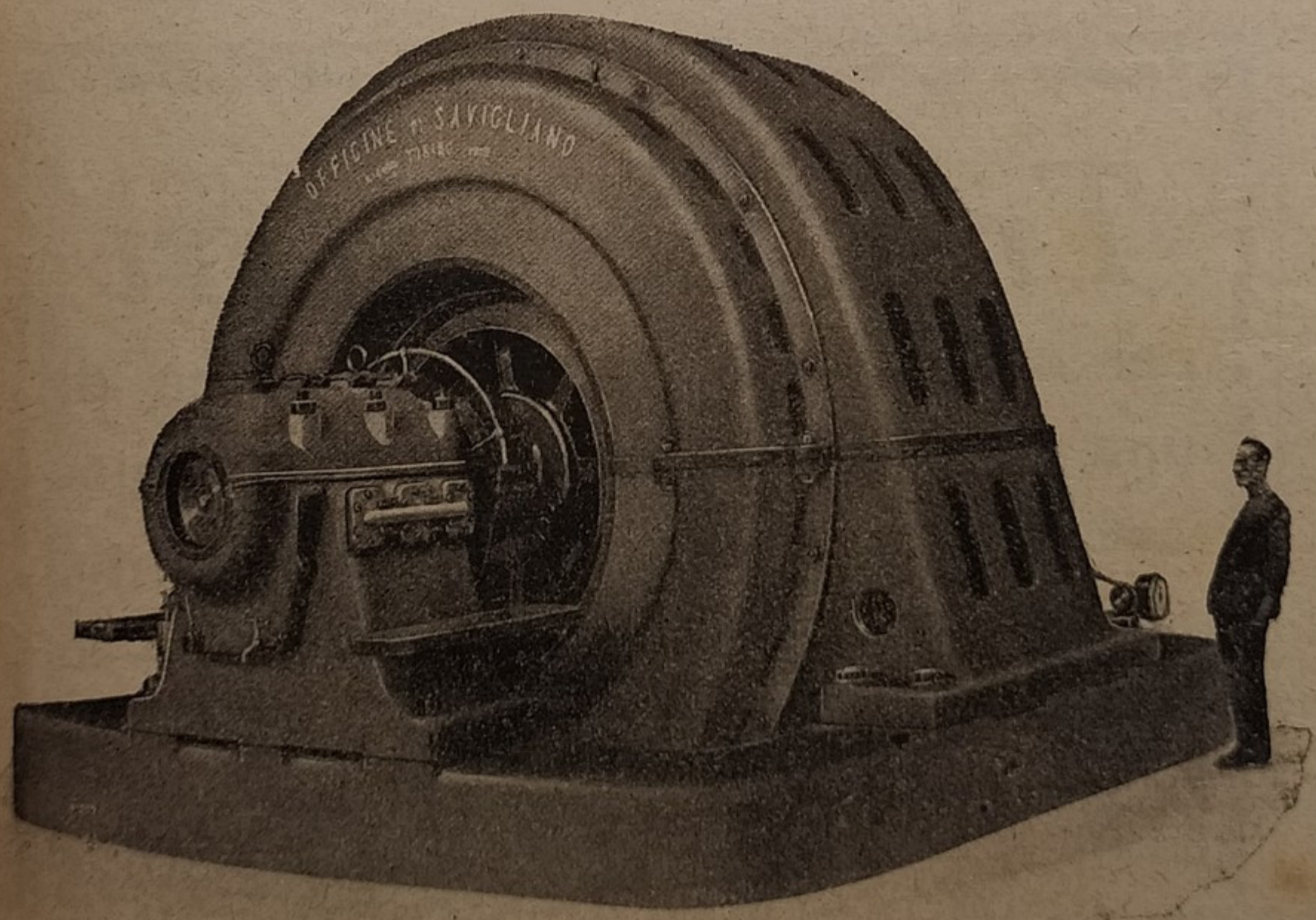
DIREZIONE IN **TORINO** - C. MORTARA, 4

COSTRUZIONI ELETTRICHE

MECCANICHE = METALLICHE

:: ELETTROMECCANICHE ::

FERROVIARIE E TRAMVIARIE



ALTERNATORE TRIFASE 8200 HP.

Anno XXVII — 1921

Il Monitore Tecnico

GIORNALE D'INGEGNERIA - ARCHITETTURA - MECCANICA - ELETTROTECNICA - FERROVIE - AGRONOMIA - CATASTO - ARTI INDUSTRIALI

Organo Ufficiale dell'Associazione Nazionale Ingegneri Italiani

Organo Ufficiale dell'Associazione fra gli ex allievi del Politecnico Milanese

Fondatore: Ing. ACHILLE MANFREDINI

Direttore: Ing. NINO SACERDOTI

UFFICI { Redazione: MILANO - Via Leopardi, 8 — Telefono 77-79
Amministrazione: Via Petrarca, 20 — » 34-43

Si pubblica il 10, il 20 e il 30 d'ogni mese

MEDAGLIA D'ORO
Bruxelles 1905 . Torino 1911
S. Francisco di California 1915

MEDAGLIA D'ARGENTO
Messina 1896 e Torino 1898

Prezzo d'abbonamento, che decorre invariabilmente dal 1° gennaio:

Nel Regno L. **40**,— (Un numero separato L. **2**,—)
All'Estero L. **50**,— (Arretrato L. **2**,**50**)

Trasformatori

per utilizzare la corrente elettrica di una distribuzione pubblica per le suonerie di appartamento.

Rivolgersi allo

STUDIO ELETTROTECNICO INDUSTRIALE

Lugano
Via Tesserete, 7

Milano
Casella Postale N. 912

APPARECCHI
A RISCALDAMENTO ELETTRICO

STUDIO ELETTROTECNICO INDUSTRIALE

LUGANO — *Via Tesserete N. 7.*

MILANO — *Casella Postale N. 912.*

FORNITURE ELETTRICHE
IN GENERE

Studio Elettrotecnico Industriale

LUGANO — Via Tesserete 7

MILANO — Casella Postale N. 912